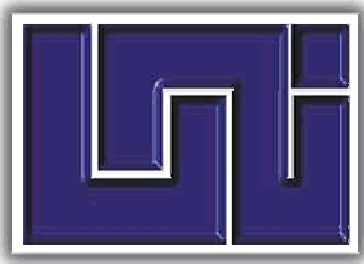


Mon
628.1622
S689
2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Monografía para optar al título de Ingeniero Químico

USO DE QUITOSANA COMO COAGULANTE
ALTERNATIVO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA
POTABILIZACIÓN DEL RÍO FONSECA, BOACO

Elaborado por: Melissa Solórzano González

Tutora: Ing. Indiana García

Managua, Nicaragua

Diciembre, 2010

DEDICATORIA

El presente trabajo monográfico para optar al título de ingeniera química se lo dedico a mis padres Indira González y Freddy Solórzano por ser guías en mi camino de alcanzar mis metas profesionales; a mi tío Pedro Páramo por sus consejos y sus enseñanzas pragmáticas de la vida; y a mí esposo Manuel Martínez por su apoyo invariable para culminar mis estudios, y crecer profesionalmente y como persona.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco con toda sinceridad a la profesora Indiana García por enseñarme a terminar lo que uno empieza con disciplina, empeño y tenacidad para obtener buenos resultados.

También le agradezco a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Química que aportaron con sus lecciones al mejor entendimiento de la carrera de Ingeniería Química.

A mis compañeras del laboratorio Bertha Escobar, Anne Tapia y Aleyda Alemán, por hacer más manejable y alegre el proceso del estudio.

OPINION DEL CATEDRATICO GUIA

Managua, 12 de Noviembre del 2010.

Ing. Leonardo Chavarría
Decano FIQ

Estimado Ing. Chavarría:

Por este medio quiero hacer constar que he revisado la tesis de la Melissa Solórzano González Tapia Vega cuyo título es *“Uso de quitosana como coagulante alternativo en el tratamiento de agua para la potabilización del Río Fonseca, Boaco”*

Esta investigación consistió en tomar muestras del río, fraccionarlas en cuatro tipos de materia orgánica para conocer cuál de las fracciones influía más en la formación de trihalometanos; estos compuestos son un subproducto de la desinfección que han sido ligados a enfermedades como retardo mental y diferentes tipos de cáncer.

Esta es la primera vez que se estudia a la materia orgánica en sus diferentes componentes o fracciones. Además de que cada fracción fue tratada con quitosana como coagulante a nivel de laboratorio para determinar cual fracción era más reactiva con el cloro y por ende formaba menos trihalometanos.

Sin más a que referirme

Ing. Indiana García
Profesor Titular

RESUMEN

La materia orgánica natural (NOM) del agua cruda de la planta potabilizadora de Boaco, ubicado en el centro de Nicaragua, proviene del Río Fonseca, fue separada en cuatro fracciones orgánicas basadas en sus propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas utilizando una secuencia de resinas iónicas y no-iónicas. Las fracciones de NOM fueron estudiadas con el propósito de determinar el impacto de la coagulación con quitosana en la remoción de esas fracciones en el tratamiento convencional de agua, y su potencial como precursor en la formación de productos por la desinfección en especial Trihalometanos.

Los experimentos mostraron que el tipo de materia orgánica presente en el Río Fonseca es del tipo hidrofóbica ya que el carbono orgánico disuelto (DOC) en las fracciones muy hidrofóbica (VHA) y ligeramente hidrofílica (SHA) que constituyen la fracción hidrofóbica se encuentran en una proporción de 63.64% en la estación seca y 91.7% en la estación lluviosa. Esto indica que en el Río Fonseca predomina la materia orgánica húmica y por ello gran parte de los materiales orgánicos son de origen terrestre de alto peso molecular y de origen alóctono que pueden ser removidas por coagulación.

Después de la coagulación con quitosana, las mayores remociones de la materia aromática medida como UV_{254} en la fracciones se obtuvieron con un rango de dosis de quitosana de 4 a 6 mg/L en la estación seca. En cambio, en la estación lluviosa, las remociones más altas de UV_{254} se lograron con una dosis de coagulante de 16 mg/L.

El DOC mostró después del tratamiento de coagulación con quitosana que la fracción hidrofóbica (VHA+SHA) fue la más removida para ambas estaciones climatológicas, y que la fracción hidrofílica fue la menos removida.

La concentración de trihalometanos después de la coagulación fue de 118.0 µg/L, que excede el valor normado por la USEPA pero no el de la normativa CAPRE. En cambio, en la época lluviosa los trihalometanos disminuyeron a 74.0 µg/L. En ambas estaciones, la fracción que más contribuyó a la formación de trihalometanos fue la hidrofóbica.

	TABLA DE CONTENIDO	Página
Capítulo I:	INTRODUCCION	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	4
Capítulo II:	MARCO TEORICO	5
2.1	Situación actual del agua en Nicaragua	6
2.1.1	Plantas potabilizadoras de agua en Nicaragua	7
2.1.2	Fuente de abastecimiento de la planta potabilizadora de agua de Boaco	7
2.1.3	Planta de tratamiento de agua en Boaco	8
2.2	Calidad del agua para consumo humano	8
2.2.1	Norma de calidad del agua para consumo humano (CAPRE)	9
2.2.2	Parámetros utilizados para determinar la calidad del agua	10
2.3	Características del agua	10
2.3.1	Características físicas	11
2.3.2	Características químicas	13
2.3.3	Características microbiológicas	15
2.4	Características de la materia orgánica	16
2.4.1	Parámetros sustitutos de la materia orgánica	17
2.4.2	Fraccionamiento de la materia orgánica	19
2.5	Tratamiento para la potabilización de agua	20

2.5.1	Aeración	20
2.5.2	Coagulación	21
2.5.2.1	Fenómenos de la coagulación	22
2.5.2.2	Mecanismos de la coagulación	23
2.5.2.3	Compuestos utilizados en los procesos de coagulación – floculación	26
2.5.2.4	Quitosana como coagulante	28
2.5.3	Floculación	30
2.5.4	Sedimentación	31
2.5.5	Filtración	32
2.5.6	Adsorción	32
2.5.7	Desinfección	33
Capítulo III:	DISEÑO METODOLOGICO	36
3.1	Método de investigación	36
3.2	Tipo de investigación	36
3.3	Población y muestra	37
3.4	Técnicas de recolección de datos	37
3.4.1	Recopilación de información	37
3.4.2	Ficha de campo	38
3.4.3	Ficha de laboratorio	38
3.5	Métodos	38
3.5.1	Caracterización del agua cruda de la planta potabilizadora de Boaco	38
3.5.2	Fraccionamiento de la materia orgánica contenida en el Río Fonseca	39

3.5.2	Simulación del proceso de coagulación-floculación-sedimentación y desinfección	41
3.6	Parámetros a ser estudiados	42
3.7	Procesamiento y análisis de la información	43
Capítulo IV:	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1	Características del agua cruda de Boaco	45
4.2	Fraccionamiento del agua cruda	46
4.3	Características del agua fraccionada y coagulada	48
4.4	Formación de trihalometanos	54
Capítulo V:	CONCLUSIONES	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
Capítulo VI:	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	59
ANEXO A:	NORMAS CAPRE	65
ANEXO B:	HERRAMIENTAS DE RECOLECCION DE DATOS	67
ANEXO C:	METODOS PARA LA DETERMINACION DE PARAMETROS	69

	LISTA DE TABLAS	Páginas
Tabla 2.1	Valores guías NOM y remoción de DOC esperada	19
Tabla 2.2	Características y aplicaciones de la quitosana	29
Tabla 2.3	Concentraciones de trihalometanos permitidas en Nicaragua	35
Tabla 3.1	Parámetros y métodos	42
Tabla 4.1	Características del agua cruda de Boaco	45
Tabla 4.2	Características de las fracciones	47

LISTA DE FIGURAS	Páginas
Figura 2.1 Fuerzas de repulsión y atracción	23
Figura 2.2 Re-estabilización de partículas	24
Figura 2.3 Tipos de flóculos	25
Figura 2.4 Efecto de puente de las partículas en suspensión	25
Figura 2.5 Estructura de la quitosana	28
Figura 3.1 Fraccionamiento de la materia orgánica	39
Figura 3.2 Prueba de jarra	41
Figura 4.1 Distribución de DOC en estación seca y lluviosa	48
Figura 4.2 Porcentaje de remoción de UV_{254} , época seca	49
Figura 4.3 Porcentaje de remoción de UV_{254} , época lluviosa	50
Figura 4.4 DOC remanente, época seca	51
Figura 4.5 DOC remanente, época lluviosa	52
Figura 4.6 Comportamiento de color, época seca	53
Figura 4.7 Comportamiento de color, época lluviosa	54
Figura 4.8 Concentración de trihalometanos, época seca	55

1.0 INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad prioritaria establecida en la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620) (Asamblea Nacional, 2007), el Plan Nacional de Salud (MINSA, 2004) y las políticas públicas de Nicaragua, de realizar estudios aplicados sobre tratamiento de aguas, con diferente tipos de tecnologías que permitan a las entidades a cargo del suministro de agua proporcionar agua de calidad para el consumo humano que cumpla con las normas del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE, 2002).

Estas entidades deben de orientar un conjunto de acciones eficientes y eficaces que faciliten el desarrollo de procesos de mejora de la calidad del agua que se suministra a las poblaciones del país, especialmente en aquellos municipios que aunque cuentan con un sistema de agua de cañería o potable, no se les garantiza un control sobre los resultados de la calidad del agua potabilizada después del tratamiento.

Es conocido que mucha de las plantas potabilizadoras no logran alcanzar las remociones de los distintos parámetros con las que fueron diseñadas debido a problemas de operación, mantenimiento, plantas procesando más o menos caudal de lo estipulado inicialmente, plantas en paro por falta de agua o peor aun la calidad de las fuentes de aguas se han deteriorado grandemente, o plantas obsoletas; todo esto hace que la calidad del agua que reciben los consumidores no sea la adecuada.

Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en Nicaragua usan sulfato de aluminio como coagulante, pero este compuesto ha sido ligado con el mal de Alzheimer (McLachlan, 1995); además, este es un coagulante que no logra remover grandes cantidades de materia orgánica natural (NOM) lo que causa mayor formación subproductos de la desinfección como trihalometanos los cuales

son mutagénicos y cancerígenos (USEPA, 1998). Por tanto la búsqueda de coagulantes naturales como la moringa olifeira o la quitosana es una necesidad para sustituir el uso de coagulantes sintéticos con coagulantes naturales los cuales no son nocivos al ser humano ni a los cuerpos de agua.

La quitosana es obtenida principalmente de los caparazones de camarones y langostas por la desacetilación de la quitina, por lo que podría reducirse la carga ambiental de las Industrias Empacadoras de Mariscos al utilizar estos caparazones para la obtención de quitina, quitosana, proteínas y calcio, al no tirar estos llamados desperdicios a cuerpos de agua o basureros.

La quitosana ha sido ampliamente utilizada en la Industria Farmacéutica, en la de Alimentos, en el campo agrícola y en medicina, así como también para la remoción de colorantes y metales en el agua residual. Su uso tan extensivo se debe a que no es tóxica, es biodegradable y es un compuesto renovable siendo considerado amigable con el ambiente.

Muy pocos estudios acerca de la aplicación de la quitosana como coagulante para producir agua potable aparecen en la literatura debido a posibles efectos no identificados en la calidad del agua, limitaciones técnicas o legales, manejo y preparación de la quitosana, comportamiento de los filtros y la formación de subproductos de la desinfección y bio-películas en las redes de distribución.

El propósito de la presente investigación consistió en evaluar el uso de quitosana como coagulante alternativo en la remoción de materia orgánica fraccionada para disminuir la formación de trihalometanos, haciendo uso del agua cruda que es utilizada en la Planta Potabilizadora de la ciudad de Boaco.

Los resultados encontrados indican que el material orgánico es mucho menor en época seca que en época lluviosa, pero que las características de hidrofobicidad, peso y tamaño molecular son las mismas para ambas épocas. También se

determinó que la fracción hidrofóbica fue la de mayor proporción en comparación con la fracción hidrofílica. Así mismo se notó que después del proceso de coagulación con quitosana, la materia orgánica contenida en fracción hidrofóbica fue removida preferencialmente en la época lluviosa y la fracción hidrofílica en la época seca. Pero los porcentajes de remociones fueron muy bajos en la época seca y muy altos en época lluviosa, lo que ocasionó que la formación de trihalometanos fuera mayor en la estación seca. La fracción que más contribuyó a la formación de trihalometanos fue la hidrofóbica.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar el uso de la quitosana como coagulante alternativo en el tratamiento de agua potable proveniente de la Planta Potabilizadora de Boaco, durante la estación seca y lluviosa, Nicaragua, 2010.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el agua cruda proveniente de la Planta Potabilizadora de Boaco en base al contenido de material orgánico.
- Fraccionar el agua cruda en cuatro componentes: hidrofóbica, hidrofílica, cargada y neutral.
- Coagular cada una de las fracciones con quitosana para determinar cual fracción es más fácil de tratar con este coagulante natural.
- Estimar la formación de trihalometanos en cada una de las fracciones tratadas con quitosana para establecer cuál de estas fracciones es la más reactiva con el cloro.

2.0 MARCO TEÓRICO

El agua es elemento fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo fundamental para el proceso de las funciones orgánicas, pero, además, es indispensable para toda una serie de usos y actividades humanas que condicionan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, a la industria y al esparcimiento.

El agua cubre el 71% de la superficie de la tierra, siendo el 97% agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares, el agua dulce es solo una pequeña parte del conjunto de agua que existe en la tierra representando el 3% donde 1% está en estado líquido y el 2% restante se encuentra en estado sólido en capas y plataformas de hielo, por tanto aunque el agua es un recurso renovable, es escaso.

La potabilización del agua para consumo humano es necesaria para asegurar una excelente calidad y para prevenir enfermedades de origen hídrico, debido a que hoy en día es difícil encontrarla en su estado natural sin ninguna impureza; por tanto requiere diferentes tipos de tratamiento según las características físicas, químicas y bacteriológicas presente en el agua cruda a tratar.

Se considera agua potable o agua para consumo humano, el agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

En este capítulo se hace un enfoque de la situación del agua en Nicaragua, calidad del agua: normas y parámetros, la caracterización del agua cruda a través de parámetros físicos, químicos y biológicos, ya que éstas características son de gran importancia para la elección del Tratamiento de Potabilización del Agua, hasta llegar al eje central del estudio que es el proceso de coagulación-floculación

y las variables que controlan este proceso, utilizando quitosana como coagulante alternativo para la remoción de materia orgánica y la disminución en la formación de trihalometanos.

2.1 SITUACION ACTUAL DEL AGUA EN NICARAGUA

Nicaragua es un país rico en recursos hídricos, pero cuenta con poca gestión en el manejo de los cuerpos de agua existentes, debido a su realidad política y económica.

Las cuencas hidrográficas de Nicaragua son 21, trece drenan hacia la vertiente del mar Caribe, abarcando un área estimada de 117,420 km², aproximadamente, es decir 90% del territorio nacional. Las otras ocho cuencas, drenan hacia la vertiente del Océano Pacífico, abarcando un área estimada de 12,183 km², 10% del territorio nacional (ENACAL, 2007).

El Plan Nacional de Salud (MINSA, 2004) indica que sólo un tercio de la población del país tiene agua para beber dentro de la vivienda y otra tercera parte lo tiene afuera. Como es de esperarse en un país con importantes niveles de desigualdad, éste porcentaje se distribuye desigualmente entre los departamentos del país y por condición socio-económica de la población. En el área rural, sólo el 26% recibe agua de cañería, el 36% usa pozos privados o públicos y el 24% toma agua de ríos, manantiales o quebradas.

Por otro lado, el hecho de contar con redes de servicios de agua no asegura, la existencia de un abastecimiento de agua continuo debido principalmente al agotamiento que han venido sufriendo las principales fuentes de agua por el deterioro del ambiente y el crecimiento poblacional.

La Empresa de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL, 2007), proporciona aproximadamente el 55% de los servicios de suministro de agua en el país. Hay

una cobertura urbana deficiente, con cortes y limitaciones de horas de servicio en aproximadamente el 77% de los hogares urbanos y un abastecimiento rural inferior al 31%. La población urbana con acceso a servicios de aguas negras fue estimada en 32%.

2.1.1 Plantas Potabilizadoras de Agua en Nicaragua

Actualmente existen ocho plantas potabilizadoras en el país, todas ubicadas en la Región Central que son: Boaco del Departamento de igual nombre; Camoapa, Juigalpa, La Libertad, Nueva Guinea y Santo Tomás del Departamento de Chontales; Ocotal, Departamento de Nueva Segovia; y Matagalpa, cabecera departamental de Matagalpa.

2.1.2 Fuente de Abastecimiento de la Planta Potabilizadora de Agua de Boaco

La fuente de abastecimiento utilizada para el funcionamiento de la planta potabilizadora del municipio de Boaco es el río Fonseca.

La situación actual del río Fonseca se ha tornado alarmante por su alto grado de contaminación, originada por las actividades antropogénicas, lo que repercute directamente en la calidad del agua potable y por ende en la salud de los Boaqueños.

La descarga directa de parte de las aguas residuales y aguas negras a los cauces naturales del río Fonseca, sin ningún tipo de tratamiento, trae como consecuencia la contaminación de las aguas, el desmejoramiento ambiental de la ciudad y el estancamiento de aguas putrefactas en la época de verano. Estas aguas son utilizadas por los pobladores de algunos barrios para realizar quehaceres del hogar.

Además, a esto se suma la contaminación ocasionada por los pobladores asentados en la ribera del río, los que tiran la basura. Las corrientes corren hacia Boaco Abajo afectando a las comunidades de El Cascabel, Güisoyol y el municipio de Teustepe, y van a parar al río Malacatoya, de donde se abastecen de agua potable.

2.1.3 Planta de Tratamiento de agua en Boaco

La planta tratamiento de agua del municipio de Boaco cuenta con las siguientes etapas:

- Cribado
- Coagulación -Floculación -Sedimentación
- Filtración Rápida
- Desinfección

2.2 CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Calidad del agua es un concepto relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada.

De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, o para mantener la calidad ambiental, etc.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua de consumo humano son normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro país. Para Centro América las normas de calidad de agua están regidas por los estándares de la norma CAPRE.

2.2.1 Norma de Calidad del Agua para Consumo Humano (CAPRE)

El objetivo de esta norma de calidad del agua de consumo humano es proteger la salud pública y por consiguiente, ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento del agua.

Las normas de calidad del agua establecen los requisitos básicos, a los cuales debe responder la calidad del agua suministrada en los servicios para consumo humano y para todo uso doméstico, independientemente de su estado, origen o después de su tratamiento. Los países miembros de CAPRE (Anexo A1) podrán complementar estas normas con disposiciones más específicas, que respondan a las características propias de cada país. Los países adscritos a estas normas son los miembros de CAPRE: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.

En Nicaragua a través de la Ley 620 Ley General de Aguas Nacionales y su Reglamento, las normativas de calidad estarán a cargo de las siguientes instituciones: El Ministerio de Salud (MINSA) en coordinación con el Instituto Nacional de Aguas y Alcantarillados (INAA), Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR). Estos entes gubernamentales elaborarán las normas técnicas de calidad del agua para consumo humano tomando en consideración los contaminantes orgánicos

persistentes (COP), prohibidos en Nicaragua, así como cualquier otro tipo de contaminante tóxico para el consumo humano.

2.2.2 Parámetros Utilizados para Determinar la Calidad del Agua

Una de las clasificaciones que se utilizan para el estudio de los diferentes parámetros de contaminación o calidad de las aguas, es de acuerdo a la naturaleza de la propiedad o especie que se determina. Así, se puede dividir en:

- Parámetros de Carácter Físico: Turbiedad, color, sólidos en suspensión, sólidos totales disueltos, temperatura, conductividad, olor y sabor.
- Parámetros de Carácter Químico: Salinidad, dureza, pH, oxígeno disuelto, sustancias orgánicas (materia orgánica), sustancias de carácter inorgánico.
- Parámetros de Carácter Radiactivo: Radiaciones α y β totales, elementos individuales.
- Parámetros de Carácter Microbiológico: Bacterias indicadoras, microorganismos patógenos.

Como estos parámetros son los mismos que caracterizan el agua cruda y el agua después de ser tratada en los distintos procesos, se precisarán estos parámetros más detenidamente en el siguiente acápite.

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

A continuación se presentan las características que debe tener el agua apta para consumo humano y el significado de cada uno de los parámetros involucrados en estas características.

2.3.1 Características Físicas

Las características físicas principales del agua son: Turbiedad, temperatura, color, conductividad, sólidos totales disueltos (TDS), así como sabor y olor, cada una de las cuales influyen en la apariencia agradable del agua según (Romero, 1999).

Turbiedad: La turbiedad de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. Es un fenómeno óptico que consiste esencialmente en la absorción de luz combinado con un proceso de difusión. La turbiedad se mide en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU). Íntimamente unida a la turbiedad está la fracción de materia sólida presente en el agua.

Temperatura: La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de un agua. Afecta a parámetros o características tales como la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, desplazamientos de los equilibrios químicos, tensión superficial, desarrollo de organismos presentes en el agua. La influencia más interesante es la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción.

La temperatura del agua afecta las unidades de tratamiento tales como mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, además de que a temperaturas altas se acelera la corrosión de las tuberías. A temperaturas bajas, la viscosidad del agua aumenta y esto conlleva a una velocidad menor de sedimentación de los sólidos debido a la resistencia que brindan la viscosidad al movimiento descendente de las partículas.

Color: Las causas más comunes del color del agua son la presencia del hierro, manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color

natural en el agua existe principalmente por efectos de partículas coloidales cargadas negativamente. Debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de un ion metálico trivalente como el Al^{+3} o el Fe^{+3} .

Se conocen dos tipos de color en el agua: El color verdadero que es el color que presenta la muestra de agua una vez que su turbiedad ha sido removida por filtración; y el color aparente al que no se le ha removido la turbiedad e incluye el color de la sustancia en solución y coloides.

En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra a medirlo conjuntamente con el pH. La unidad del color es el color producido por un mg/L de platino, en la formación de un ion cloro-platinado.

Conductividad: La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración de total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación.

La conductividad del agua da una buena apreciación de la concentración de los iones de disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH.

Sólidos Totales Disueltos (STD): Los sólidos totales disueltos están fundamentalmente compuestos por sales inorgánicas principalmente Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos, así como pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta en el agua.

El principal efecto en el agua que producen los STD es en el sabor, el cual con concentraciones bajas son aceptables, mientras que en concentraciones mayores es totalmente desagradable y además, producen incrustaciones en las cañerías, calderas, ollas y otros elementos.

2.3.2 Características Químicas

Potencial Hidrógeno (pH): Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de una solución cualquiera mediante la concentración del ion de hidrógeno. El pH juega un papel importante en los procesos de tratamiento como coagulación, desinfección por cloro, ablandamiento y control de corrosión. Por lo general las aguas naturales tienen un cierto carácter básico, unos valores de pH comprendidos entre 6.5-8.5.

Hierro: Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en el suministro de agua. En general estos problemas son tan comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnio anaerobio de lagos estratificados por el contacto directo del agua con los minerales que se encuentran en el subsuelo favoreciéndose el crecimiento de bacterias ferrosas, las cuales se encuentran envueltas por un revestimiento de filamentos, que crecen adhiriéndose a las paredes del pozo o a las tuberías, lo cual puede llegar a obstruirlas; y en algunos casos el hierro también se encuentra en agua superficiales provenientes de algunos ríos y embalses. El hierro existe principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, (FeS_2) pirinita.

Manganeso: Su comportamiento químico y su manifestación en el agua natural son similares a la del hierro. El magnesio de las rocas es menos abundante que el hierro, por eso en las aguas subterráneas es menos común su presencia y por tanto sus concentraciones son menores que las del hierro. El manganeso existe en el suelo como dióxido de manganeso insoluble.

Alcalinidad Total: La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrogeno, para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-).

En la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulante reaccionan para formar precipitados de hidróxidos insolubles. Los iones H^+ originado reaccionan con la alcalinidad del agua y por lo tanto, la alcalinidad actúa como buffer del agua en un intervalo de pH en que el coagulante puede ser efectivo.

Amonio: El amonio es producto inicial de la biodegradación de proteínas y sustancias orgánicas que contienen nitrógeno. En altas concentraciones es tóxico. Aguas con valores bajos de pH presentan alto porcentaje de amonio. Es un indicador de contaminantes y está muy asociado a la materia orgánica.

Sulfato: Las aguas naturales no tienen altas concentraciones de sulfato, pero cuando se hallan en cantidades apreciables tienen efecto sobre el sabor y son laxantes cuando se presentan simultáneamente con el manganeso y sodio.

Dureza: La dureza es también un parámetro relacionado con los anteriores. Mide la presencia de cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} , y en menor cantidad Fe^{+2} y Mn^{+2} y otros alcalinotérreos. En la actualidad se tiende a prescindir del término “dureza” indicándose la cantidad de calcio y magnesio presente en un agua en mg/L, sin embargo se conocen:

- Dureza Total: Es la suma total de las concentraciones de sales de calcio y magnesio, se mide por volumetría de complejación con EDTA, se expresa numéricamente en forma de carbonato de calcio u óxido de calcio, pueden también utilizarse los grados hidrotimétricos (1º francés = 10 mg de carbonato de calcio/L).
- Dureza Temporal: Es la que corresponde a la proporcionada por los hidrógeno carbonatos de calcio y magnesio, desaparece por ebullición pues precipitan los carbonatos.
- Dureza Permanente: Es la que existe después de la ebullición del agua, es la diferencia entre las dos anteriores.

En aguas naturales los bicarbonatos son la principales forma de alcalinidad por lo tanto la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonatada. Se considera como no carbonatada toda dureza que no esté químicamente relacionada con los bicarbonatos. La dureza no carbonatada incluye principalmente sulfatos, cloruros, nitratos de calcio y magnesio.

2.3.3 Características Microbiológicas

Todos los organismos deben encontrar en su medio ambiente las unidades estructurales y las fuentes de energía necesaria para formar y mantener su estructura y organización. Dichos materiales son llamados nutrientes. Casi todos los organismos vivos requieren de carbono, nitrógeno y otros minerales en concentraciones de trazas para poder sobrevivir.

Los microorganismos patógenos que se encuentran en el agua son de origen:

- Bacterianos: *Salmonellas typha*, *Salmonella paratyphi*, *Vibrio cholera*.
- Vírus: Hepatiti A, Polio, Gastroinstetinales.
- Protozoos Patógenos: *Entamoeba Histolytica*, *Giardia Lambia*, *Naegleria Gruberi*.

Los microorganismos más importantes que se pueden encontrar en las aguas son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas. La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos, bacterias y virus se encuentran en las heces, orina y sangre, y son el origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa, etc.). Desde el punto de vista histórico, la prevención de las enfermedades originadas por las aguas constituyó la razón fundamental del control de la contaminación.

Entre las bacterias del agua que se utilizan para determinar la presencia de contaminación fecal, se encuentran los organismos coliformes, este microorganismo no es patógeno y funcionan en el proceso digestivos en los animales de sangre caliente. Los organismos coliformes fecales son una prueba de una contaminación del agua por materia fecal humana o de animales.

2.4 CARACTERISTICAS DE LA MATERIA ORGANICA NATURAL (NOM)

La materia orgánica natural (NOM) es una mezcla de componentes particulados y solubles de origen orgánico e inorgánico que varía de una fuente a otra (Hong y Elimelech, 1997), además la NOM es también una mezcla heterogénea con rangos amplios en el peso molecular, y grupos funcionales (grupos fenólicos, hidroxilos, carbonílicos y ácidos carboxílicos) y está formada por material de origen alóctonos tales como restos de vegetación y autóctonos como las algas (Maartens et al., 1998).

Las características de la materia orgánica no son normalmente medidas en las plantas potabilizadoras debido a los altos costos que involucra su análisis y porque no existe un solo parámetro que caracterice a la materia orgánica.

La cantidad de NOM está comúnmente representada por la cantidad de carbón orgánico disuelto (DOC). Las sustancias húmicas son los mayores constituyentes de NOM, contabilizando aproximadamente 50% del DOC; otro 30% del DOC está constituido por ácidos hidrofílicos y el 20% restante son carbohidratos (incluyendo polisacáridos), ácidos carboxílicos, proteínas y aminoácidos (Thurman et al., 1982).

La presencia de materia orgánica natural en el agua potable puede causar sabor, olor y problemas de color así como recrecimiento bacteriano en los sistemas de distribución. Pero lo más importante es que la NOM es precursora de los subproductos de la desinfección tales como trihalometanos (THMs) y ácidos halo

acéticos (HAAs) cuales han sido reportados como cancerígenos y mutagénicos (USEPA, 1998). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1998) estableció valores máximos admisibles de 80 y 60 µg/L para THMs y HAAs, respectivamente para agua potable. Por tanto la caracterización de la NOM debería de hacerse en las plantas potabilizadoras.

A continuación se describen cada uno de los parámetros que caracterizan la materia orgánica natural.

2.4.1 Parámetros Sustitutos de la Materia Orgánica

- Carbón Orgánico Total (TOC): Es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos.

Aunque el TOC es una medida directa del contenido de carbono orgánico del agua, no es necesariamente una medida consistente de las concentraciones de los precursores de los subproductos de desinfección (DBPs). Una explicación para esta observación es que el TOC no proporciona una indicación de la aromaticidad, la naturaleza alifática, química de grupo funcional, o enlaces químicos asociados con las moléculas orgánicas naturales.

Es probable que la reactividad de los enlaces químicos y los grupos funcionales sea un factor significativo en la explicación del porqué aguas de diferentes cuencas, con la misma concentración de TOC forman diferentes concentraciones de DBPs bajo las mismas condiciones.

- Carbón Orgánico Disuelto (DOC): Mide la cantidad de carbono orgánico disuelto en el agua. La fase orgánica disuelta puede ser más reactiva que las partículas de la parte orgánica. Así, la proporción de DOC a TOC también

puede ser considerada un factor importante en la explicación de diferentes concentraciones de THMs bajo las mismas condiciones de la desinfección y niveles de bromuro.

Si la proporción de DOC/TOC es relativamente baja < 0.5 , puede esperarse que los procesos físicos como sedimentación y filtración remuevan un fragmento significativo de NOM. Por otro lado, las proporciones de DOC/TOC relativamente altas > 0.5 , indican que la NOM también está en forma soluble. Por consiguiente, otro proceso como coagulación, adsorción de carbón activado granular (GAC) y filtración de membrana son requeridos para lograr una remoción significativa.

- Absorción de Luz Ultravioleta a 254 nm (UV_{254}): La absorbancia UV_{254} indica la concentración de moléculas orgánicas con agrupaciones aromáticas. Deben medirse muestras de UV_{254} en el agua antes de la adición de un oxidante o desinfectante. Esto es necesario porque los oxidantes reaccionan con compuestos orgánicos y se unen a los dobles enlaces que absorben UV_{254} . El análisis de las muestras no debe exceder 48 horas, después del muestreo. No pueden ajustarse los pH de muestra de UV_{254} .
- Absorción Ultravioleta Específica (SUVA): La absorción ultravioleta específica es un indicador del contenido húmico del agua. Es un parámetro calculado a partir de la absorción ultravioleta (UV_{254}), dividida por el carbono orgánico disuelto (DOC) contenido en el agua. El principio del método es la absorción de la luz UV por parte de los constituyentes presentes en el agua en proporción a su concentración. La ecuación es:

$$SUVA \text{ (L/mg-m)} = 100 \text{ (cm/m)} [UV_{254} \text{ (1/cm)}/DOC \text{ (mg/L)}] \quad (2.1)$$

En la Tabla 2.1 se muestran las guías para la interpretación del SUVA según Edzwald y Tobiason (1999). Se puede observar que con valores de SUVA de 2

L/mg-m o menores es difícil de tratar el agua con coagulación, ya que el DOC no controla la dosis de coagulante. Por otro lado, con valores altos de SUVA es fácil de tratar, debido a que la cantidad de NOM ejerce una mayor demanda de coagulante que la que ejerce las partículas en el agua. La dosis de coagulante aumenta con el incremento del DOC.

Tabla 2.1 Valores Guías NOM y Remoción de DOC esperada.

SUVA	Composición	Coagulación	Remoción de DOC
< 2	Mayormente no-húmicos Baja hidrofobicidad Compuestos de bajo peso molecular	NOM tiene poca influencia Pobre remoción de DOC	< 25% para aluminio Un poco mayor para hierro
2-4	Mezcla de material húmico acuático y otros tipos de NOM Mezcla de NOM hidrofóbica e hidrofílica Mezcla de compuestos de distintos pesos moleculares	Influencia de NOM en la coagulación Remoción de DOC es de regular a buena	25-50% para aluminio Un poco mayor para hierro
> 4	Mayormente material húmico acuático Alta hidrofobicidad Compuestos de alto peso molecular	NOM controla la coagulación Buena remoción de DOC	50% para aluminio Un poco mayor para hierro

Fuente: Edzwald y Tobiasson, (1999).

2.4.2 Fraccionamiento de la Materia Orgánica

Debido a la naturaleza heterogeneidad de la NOM, una serie de métodos de fraccionamiento ha sido aplicado para un mejor entendimiento de las características de la NOM (Leenher y Croué, 2003). El fraccionamiento de resinas fue desarrollado por Leenher (1981), y se ha convertido en un método común para caracterizar la materia orgánica natural (Buchanan et al., 2003). Este método permite la separación de NOM en sus componentes húmicos/no-húmicos, e hidrofóbicos/ hidrofílicos. En este método del uso secuencial de resinas iónicas y no-iónicas resultan cuatro fracciones: ácidos muy hidrofóbicos (VHA), ácidos ligeramente hidrofóbicos (SHA), hidrofílica cargada (CHA) y neutral hidrofílica

(NEU). Un método más rápido de fraccionamiento de NOM fue desarrollado por Chow et al. (2004) el cual utiliza una secuencia de resinas no-iónicas (DAX-8, Supelite y XAD-4, Amberlita) y una resina de fuerte intercambio aniónico (IRA-958, Amberlita) para separar la materia orgánica natural disuelta en las cuatro fracciones antes mencionadas.

2.5 TRATAMIENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA

Se considera agua potable a aquella que presenta las características adecuadas, regidas por los parámetros de calidad establecidos en las normas nacionales e internacionales, es decir cuando es incolora, insípida e inodora, además de contener oxígeno y sales disueltas en las concentraciones permitidas; cuando se encuentra libre de patógenos y/o sustancias tóxicas que pudieran poner en peligro la salud de los consumidores. Por tanto para que el agua pueda alcanzar estas condiciones y satisfacer a una o varias comunidades, debe someterse a un proceso de potabilización.

Debido a la falta de desarrollo tecnológico en países como Nicaragua, los procesos de potabilización más comunes son los siguientes:

2.5.1 Aeración

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenida en ella. En resumen es el proceso de introducir aire al agua (Cárdenas, 2000). Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto.
- Disminuir la concentración de CO₂.
- Disminuir la concentración de H₂S.

- Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- Oxidar hierro y manganeso.
- Remover compuestos orgánicos volátiles.
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

La aireación cumple su objetivo de purificación de agua mediante el arrastre por barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta de agua con aire y por el proceso de oxidación de los metales y los gases. El agua aireada es más agradable al paladar; la aireación reduce el nivel de CO₂ hasta 4.5 mg/L, pero la corrosión sólo se previene si la alcalinidad del agua excede los 100 mg/L (Cárdenas, 2000).

2.5.2 Coagulación

La coagulación y floculación tienen como objetivo la desestabilización y aglomeración del material particulado y disuelto. Por tanto la coagulación es el proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

El término de coagulación se refiere a una serie de operaciones químicas y mecánicas en las cuales se añaden coagulantes haciendo más efectivo las operaciones subsiguientes del tratamiento del agua.

En química del agua, un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales. Coagulantes típicos son las sales de hierro y aluminio.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación

comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo. En general, la coagulación presenta dos grandes etapas:

- **Mezcla Rápida:** La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En las plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua (Cárdenas, 2000).
- **Floculación:** Consiste en la aglomeración de pequeñas partículas en flóculos, para ésta se requiere de una agitación moderada durante un periodo mayor al establecido en la mezcla rápida.

2.5.2.1 Fenómenos de la Coagulación

Se presentan dos fenómenos básicos de coagulación: Por adsorción y por barrido (Cárdenas, 2000):

- Coagulación por Adsorción: Se presenta cuando el agua contiene una alta concentración de partículas en el estado coloidal. El proceso consiste en que el coagulante es adicionado al agua turbia y los productos solubles de los coagulantes son adsorbidos por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.
- Coagulación por Barrido: Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña. En este caso, las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

2.5.2.2 Mecanismos de la Coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes (Cárdenas, 2000):

- Compresión de la Doble Capa: Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y disminuye rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. Si la distancia que separa a las partículas es superior a “L”, entonces las partículas, no se atraen (Figura 2.1). “E” es la energía que los mantiene separados.

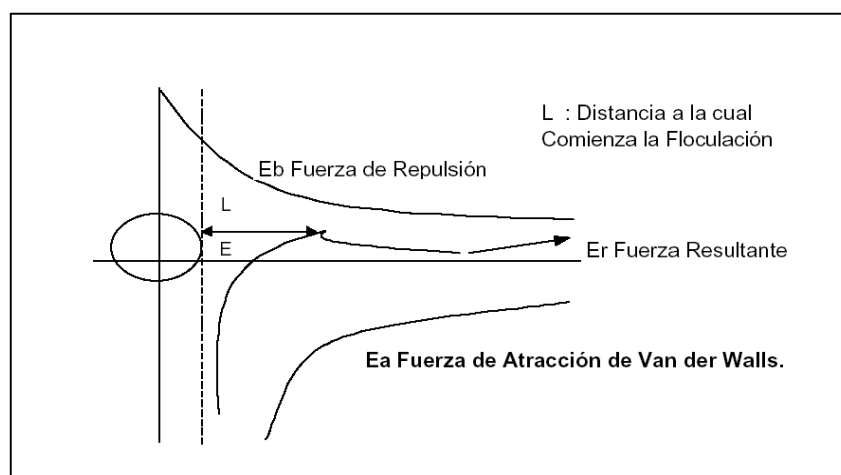


Figura 2.1 Fuerzas de Repulsión y Atracción.

Fuente: Cárdenas, (2000).

- Adsorción y Neutralización de Cargas: Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la re-estabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es adsorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Figura 2.2).

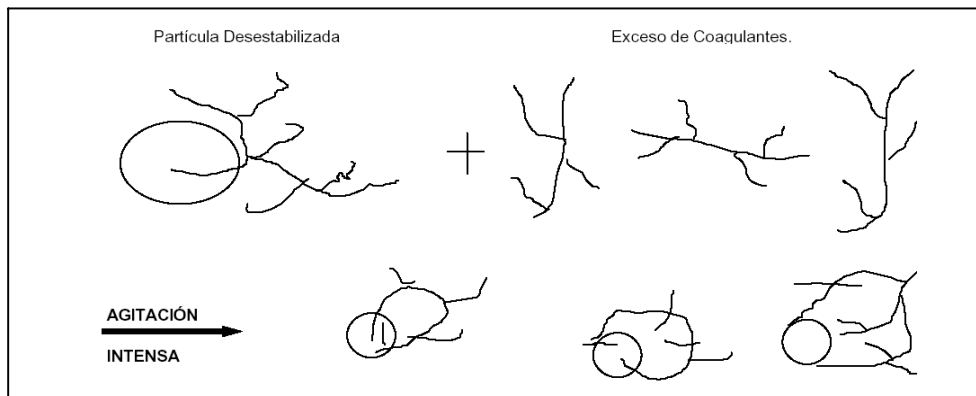


Figura 2.2 Re-estabilización de Partículas.

Fuente: Cárdenas. (2000).

- Atrapamiento de Partículas en un Precipitado: Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un flóculo, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente se hace uso de sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, y el flóculo resultante está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$.

La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de puntos de nucleación durante la formación del flóculo (Figura 2.3); este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

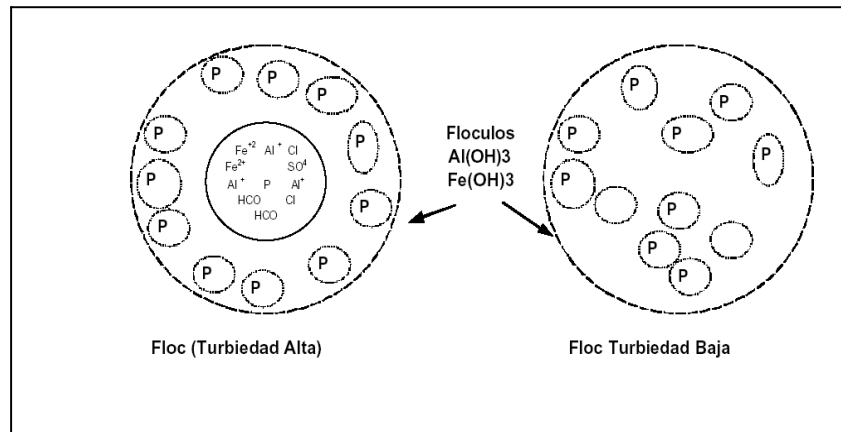


Figura 2.3 Tipos de Flóculos.

Fuente: Cárdenas, (2000).

- Adsorción y Puente: Cuando la molécula de un polímero puede adsorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios se encuentran libres para adsorber otras partículas; se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales (Figura 2.4). Sin embargo, cuando hay una excesiva carga de polímeros, los flóculos pueden re-suspenderse enturbando el agua que está siendo coagulada.

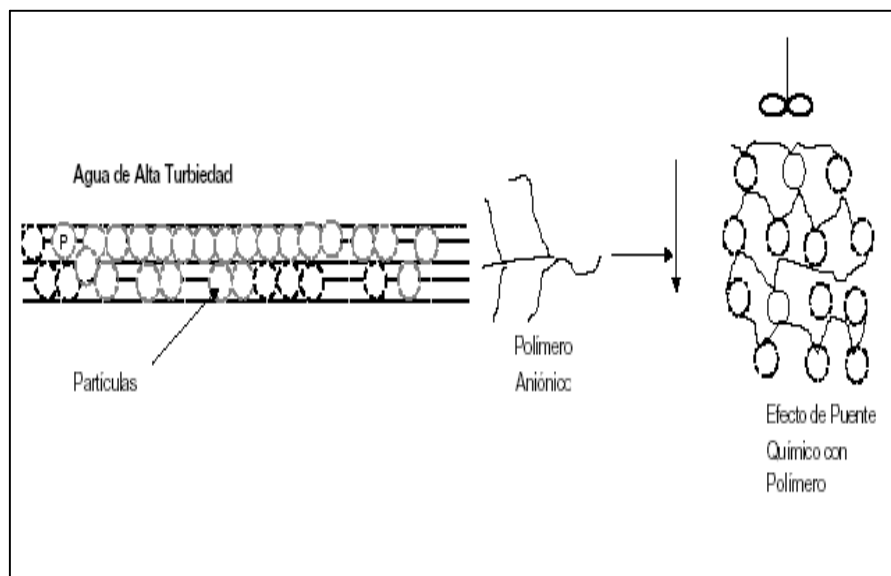


Figura 2.4 Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión.

Fuente: Cárdenas, (2000).

2.5.2.3 Compuestos Utilizados en el Proceso de Coagulación-Floculación

Hay dos principales clases de compuestos utilizados en el proceso de coagulación-floculación (Bratby, 2007):

- **Coagulantes Inorgánicos y Orgánicos:** Incluyen aditivos minerales (cal, sales de calcio, etc.), sales metálicas hidrolizables (sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, etc.), metales pre-hidrolizados (cloruro poli-alumínico) y poli electrolitos (coagulantes aditivos).
- **Floculantes Orgánicos:** Tales como poli electrolitos catiónicos y aniónicos, polímeros no iónicos, polímeros modificados hidrofóbicamente, y floculantes que actúan naturalmente (derivados de hidratos de carbono).

El pH, turbiedad, temperatura, alcalinidad, materia orgánica natural, condiciones de mezcla, sistemas de aplicación de los coagulantes son factores a considerar al seleccionar el tipo de coagulante a emplear.

Coagulantes Utilizados

Los coagulantes más ampliamente utilizados están basados en las sales de aluminio y férricas, tales como: Sulfato de aluminio y cloruro de hierro. Originalmente, se consideró que sus acciones eran resultado de la naturaleza trivalente de los metales, resultando los cationes Al^{3+} y Fe^{3+} disueltos, los cuales son muy eficientes en la desestabilización de los coloides cargados negativamente. De modo que, los iones metálicos trivalentes son velozmente hidrolizados en el agua, teniendo un enorme efecto sobre sus comportamientos como coagulantes (Gregory, 2006).

El sulfato de aluminio es el coagulante preferido por excelencia en el tratamiento de aguas porque presenta una serie de ventajas sobre las otras sales, entre las

cuales se pueden citar: fácil manejo, menores costos, menor trabajo de descarga, almacenamiento y traslado, requiere menos espacio para su almacenamiento, brinda gran precisión y control en la mezcla y fácil mantenimiento.

Polímeros como Coagulantes

Los polímeros han sido utilizados en el proceso de coagulación-floculación para la purificación del agua, desde hace menos de cuatro décadas (Kawamura, 1976). En comparación con las sales de aluminio, algunas de las ventajas del uso de polímeros en el tratamiento de agua son las siguientes:

- Requerimiento de baja dosis de coagulante.
- Menor volumen de lodos.
- Menor incremento en la carga iónica del agua tratada.
- Reducción del nivel de aluminio en el agua tratada.
- Ahorro de costos por encima del 25-30% (Rout et al., 1999).

Los polímeros utilizados en el tratamiento de agua son solubles en ésta y en la mayoría de los casos de naturaleza sintética, aunque unos pocos productos naturales son interés. Los polímeros son generalmente caracterizados por su naturaleza iónica: Catiónica, aniónica y no iónica; así como de origen natural o artificial (Bolto y Gregory, 2007). Un ejemplo de polímero natural catiónico es la quitosana.

Otro gran beneficio del uso de polímeros es la reducción de la materia orgánica natural (Edzwald y Tobiason, 1999) y la eliminación de partículas para asegurar la ausencia de organismos patógenos como *Giardia* y *Cryptosporidium* (Bernhardt y Clasen, 1996).

Esto requiere la mejor combinación de las sales inorgánicas como coagulante y polímero como floculantes, y de las condiciones de proceso óptimas (Narkis et al., 1991).

2.5.2.4 Quitosana como Coagulante

La quitosana (Figura 2.5) muestra una variedad de propiedades fisicoquímicas y biológicas resultando numerosas aplicaciones en campos tales como cosméticos, ingeniería biomédica, farmacéutica, oftalmológica, biotecnología, agricultura, textiles, procesamiento de alimentos, etc. Este amino-polímero ha sido usado en la últimas décadas en el proceso de tratamiento de agua para la remoción de partículas y contaminantes disueltos. En particular, el desarrollo de los compuestos basados en la quitosana para emplearse como coagulantes o floculantes es un campo en expansión en el área de tratamiento de agua y agua residual. Sus propiedades de coagulante y floculante pueden ser usadas para remover partículas orgánicas o inorgánicas suspendidas, y también sustancias orgánicas disueltas (Renault et al., 2009).

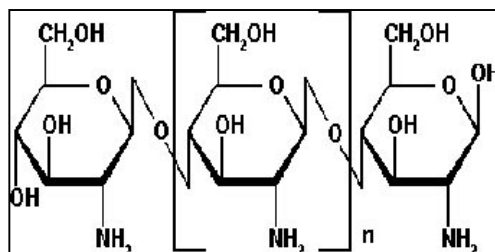


Figura 2.5 Estructura de la Quitosana.

En la Tabla 2.2 se muestran las principales características de la quitosana y sus aplicaciones potenciales.

Tabla 2.2 Características y Aplicaciones de la Quitosana.

Principales Características	Aplicaciones Potenciales
No tóxica	Floculante para clarificar el agua de consumo humano
Biodegradable	Reducción de turbiedad en el procesamiento de efluentes industriales
Fuente Renovable	Coagulación de sólidos suspendidos, minerales y suspensiones orgánicas
Polímero ecológicamente aceptado (eliminando los polímeros sintéticos y amigable con el medio ambiente)	Interacciona con moléculas de carga negativa
Eficiente contra las bacterias y virus	Tratamiento de lodos
Remoción de contaminantes	Reducción de olores

Fuente: Renault et al., (2009).

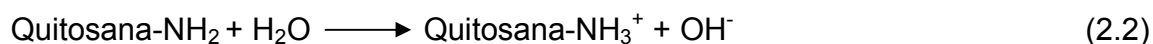
El control de las mejoras que hace la quitosana en el proceso de coagulación-floculación depende de los siguientes factores (Renault et al., 2009):

- El origen y la naturaleza de la quitosana (por ejemplo: Sus características intrínsecas como peso molecular y densidad de carga, y las condiciones de activación del bio-polímero crudo.
- La influencia de las variables del proceso como el equipamiento instalado, la dosis de coagulante, el tiempo de reacción, el grado de rotación, el gradiente de velocidad, etc.
- La química de los contaminantes (tipo de contaminantes o sus propiedades físico-químicas).

- Las condiciones de la solución como pH, fuerza iónica, el color, la concentración de partículas coloidales, la presencia de impurezas (sales disueltas) y la temperatura.

La quitosana posee importantes propiedades tales como: no tóxico, es biodegradable, amigable con el ambiente. Su característica de quelante la hacen un compuesto efectivo como coagulante y/o floculante en la remoción de contaminantes en estado disueltos. La quitosana puede actuar como coagulante y floculante debido a su alta densidad de carga catiónica y al ser un polímero de cadenas largas permite mayor formación de agregados y posteriormente la precipitación. Bolto et al. (1998, 2001); así como Eikebrokk y Saltnes, (2002) encontraron que la quitosana remueve alrededor del 90% de turbiedad, 80% de color y 70% de TOC a pH neutro.

La quitosana como polímero básico reacciona con el agua de la siguiente manera Muzarelli, (1977):



Cuando la quitosana se humedece con el agua, el pH se incrementa ligeramente y la cantidad del ion hidróxido y el catión de la quitosana producida son pequeños.

2.5.3 Floculación

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o perturbar los agregados preformados.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido

para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual es tridimensional y porosa. Así se forma mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un flóculo suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

La teoría del puente químico formulada por La Mer: Supone una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño, lo cual conlleva a la precipitación.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado (Cárdenas, 2000).

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

2.5.4 Sedimentación

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: Sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como pre-sedimentación.

La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal (Cárdenas, 2000).

2.5.5 Filtración

La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de la filtración. Aunque cerca del 90% de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la sedimentación una cierta cantidad de flóculo pasa a través del tanque de sedimentación y requiere su remoción, por ello, para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos; generalmente dichos medios son arenas y antracitas.

En la planta de purificación la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto por flóculos, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración (Cárdenas, 2000).

2.5.6 Adsorción

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activado es el sólido. El carbón activado se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500-1500 m²/g). Esta gran superficie interna hace que el carbón

tenga una adsorción ideal. El carbón activado viene en dos presentaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). El GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas para la adsorción de sustancias no polares (aceite mineral, poli-hidrocarburos aromáticos (PACs), fenol); adsorción de sustancias halogenadas (yodo (I), bromo (Br), cloro (Cl), fluor (F)); olor, sabor y sustancias no polares (no solubles en agua).

2.5.7 Desinfección

Es el último proceso unitario que se le da al agua tratada y es requisito para ser potable. Se le llama desinfección en el tratamiento del agua a la destrucción o desactivación de los organismos patógenos, particularmente las bacterias de origen intestinal. La desinfección puede llevarse a cabo mediante los métodos de: cloración, rayos x, rayos gamas, plata ionizada u ozono.

El yodo es eficiente en la destrucción de coliformes. El mayor inconveniente es su alto costo y la ingestión continua puede afectar la glándula tiroidea. La desinfección con ozono implica altos costos debido a que éste es altamente volátil y poco soluble en el agua haciendo necesario una post desinfección con cloro. Los iones de plata son un desinfectante utilizado en los filtros domésticos de porcelana y en las plantas de purificación de aguas industriales (Gutiérrez y Medrano, 2003). Por razones económicas la desinfección química es la más ampliamente usada en las Plantas Potabilizadoras (PTAP).

El cloro es el mejor desinfectante, es el más utilizado a nivel mundial, se presenta como cloro gaseoso e hipocloritos de sodio y calcio. El cloro sigue siendo el único producto capaz de garantizar que el agua se mantenga desinfectada en todo el recorrido desde la planta depuradora hasta el grifo del usuario. La cloración de las aguas permite reducir drásticamente la incidencia de enfermedades bacterianas, virales y parasitarias ocasionadas por el consumo de agua no desinfectada. El cloro se aplica en las plantas de tratamiento de agua potable para

asegurar la eliminación de los organismos patógenos. Además, hay que garantizar la presencia de cloro residual que continúe desinfectando el agua, protegiéndola de una posible re-contaminación microbiológica en la red de distribución.

Aunque el cloro es considerado el mejor desinfectante, tiene el problema de formar subproductos de la desinfección (DBPs) como trihalometanos (THMs) y ácidos halo acéticos (HAAs) al reaccionar el cloro con la materia orgánica aun presente en la etapa de desinfección. Cuando los DBPs se originan por el uso de compuestos de cloro como desinfectantes se les llama subproductos de la cloración (CBPs).

Trihalometanos (THMs)

Los trihalometanos son compuestos orgánicos que aparecen en el agua potable tras ser sometida a cloración en presencia de sustancias húmicas, y son potencialmente cancerígenos. Dentro de los THMs hay cuatro especies mayoritarias: Cloroformo, bromodiclorometano (BDCM), clorodibromometano (CDBM) y bromoformo (Platikanova et al., 2007). La presencia de estos compuestos en el agua potable es indeseable por sus efectos negativos en la salud de los humanos (McGeehin et al., 1993; Simpson y Hayes, 1998).

Las concentraciones de THMs en el agua del grifo dependen de la cantidad de cloro utilizado para la desinfección, de la especie química que se aplica (cloro, cloraminas o dióxido de cloro), y de la cantidad de materia orgánica natural presente en el agua captada (Rook, 1974). Además, el porcentaje de cada THM depende de la cantidad y proporción de sales (cloruros y bromuros) presentes en el agua a desinfectar.

Los potenciales efectos sobre la salud de una exposición continua a estos compuestos son objeto de estudio. De los cuatro THMs presentes en el agua, el cloroformo y el bromodiclorometano (BDCM) están clasificados por la Agencia

Internacional de Investigación sobre el Cáncer (OMS) como posibles carcinógenos para las personas en ciertas condiciones de exposición (Dodds et al., 1999). Por otra parte, diversos estudios epidemiológicos han hallado asociación entre el riesgo de cáncer de vejiga y largas exposiciones a los THMs (de más de 30 años) como el cloroformo o triclorometano (Villanueva, 2001).

La Tabla 2.3 muestra los valores normados por CAPRE para los trihalometanos. Como se puede observar en esa tabla, la concentración permitida de trihalometanos es de 460 µg/L para Nicaragua (CAPRE, 2002). En cambio la USEPA (2008) tiene como valor máximo 80 µg/L.

Tabla 2.3 Concentraciones de Trihalometanos permitidas en Nicaragua.

Trihalometanos (µg/L)	
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	200

Fuente: CAPRE, (2002).

3.0 DISEÑO METODOLOGICO

Este capítulo presenta la metodología empleada en la presente investigación, desde la toma de la muestra de agua cruda en la planta potabilizadora de Boaco, el fraccionamiento del contenido de materia orgánica en el agua cruda, la dosificación y aplicación de la quitosana como coagulante alternativo para la remoción de los distintos parámetros que caracterizan la NOM de cada fracción y la estimación de concentraciones de trihalometanos en cada agua fraccionada.

3.1 METODO DE INVESTIGACION

La presente investigación consiste en un estudio a nivel de laboratorio para determinar si la quitosana como coagulante remueve materia orgánica en porcentajes mayores a los reportados por la literatura para las sales de aluminio. El agua cruda se fraccionó en cuatro partes o fracciones llamadas: hidrofóbica, hidrofílica, neutral y cargada. Cada una de estas fracciones fue sometida al proceso de coagulación-floculación-sedimentación con quitosana. Posteriormente la jarra de cada fracción estudiada que tuvo el mayor porcentaje de remoción de compuestos aromáticos medido a través de UV_{254} fue seleccionada para filtrarla con papel Whatman 1 para simular el proceso de filtración rápida y se desinfectó con NaOCl (2 mg/L) por 2 h, para medir la formación de trihalometanos y conocer cuál de las fracciones era más reactiva con el cloro.

Por consiguiente el método utilizado es del tipo “Cuantitativo” ya que con éste se analizan e identifican las cantidades removidas de materia orgánica y precursores de los trihalometanos utilizándose quitosana como coagulante alternativo.

3.2 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación es de tipo descriptiva porque se realizó un análisis sistemático de las variables en estudio: Las características físicas, químicas y orgánicas del agua

cruda y agua tratada, las distintas fracciones a ser analizadas, la dosis óptima del coagulante alternativo (quitosana) para estimar la remoción de la materia orgánica y disminuir la formación de trihalometanos.

3.3 POBLACION Y MUESTRA

Se tomaron tres muestras en total de agua cruda en la planta potabilizadora de Boaco, dos durante la estación seca en los meses de Marzo y Junio, y la otra en la estación lluviosa en Agosto. Con el objetivo de que el estudio del uso de quitosana como coagulante alternativo presente resultados diferentes de efectividad en los parámetros de remoción de materia orgánica y formación de trihalometanos en las dos épocas del año que tiene el país.

3.4 TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

Estos procedimientos tenían como objetivo realizar la revisión de literatura previa al desarrollo de la investigación y diseñar instrumentos que permitieran recolectar las características fisicoquímicas y orgánicas que tiene un agua en particular en el sitio de muestreo o en el laboratorio.

3.4.1 Recopilación de Información

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Tuvo como objetivo conocer la información actual generada referente al tema, sus antecedentes, definiciones, entre otros. También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad.

3.4.2 Ficha de Campo

La ficha de campo permitió registrar la información recolectada en el momento de la toma de muestras (Anexo B1).

3.4.3 Ficha de Laboratorio

En la ficha de laboratorio se recopilaban los datos obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio para su debido procesamiento (Anexo B2).

3.5 MÉTODOS

A continuación se explica cada una de las metodologías que se siguió para el desarrollo del presente estudio:

3.5.1 Caracterización del Agua Cruda de la Planta Potabilizadora de Boaco

El agua cruda que se utilizó en este estudio fue recolectada del afluente de la planta potabilizadora de Boaco proveniente del Río Fonseca, durante los meses: Marzo, Junio y Agosto del 2010, esto con el objetivo de comparar los resultados que se obtuvieron por la coagulación con quitosana en la época seca y lluviosa.

El 70% del agua cruda de Boaco es proveniente de río y el 30% de aguas subterráneas.

En el lugar del muestreo se midieron algunos parámetros como: pH, temperatura, turbiedad y conductividad, luego se almacenaron las muestras en envases plásticos para transportarlas al laboratorio dónde se procedió a hacerle el resto de los análisis como color, UV_{254} , DOC, alcalinidad y acidez.

3.5.2 Fraccionamiento de la Materia Orgánica Contenida en el Río Fonseca

Se usaron tres tipos de resinas para la separación de la materia orgánica presente en el agua del río Fonseca. Estas resinas fueron: Amberlita DAX-8 para la fracción hidrofóbica (VHA), amberlita XAD-4 para la sorción de la fracción ligeramente hidrofóbica o denominada hidrofílica (SHA) y la resina IRA-985 para la sorción de la fracción hidrofílica acida cargada (CHA). En la Figura 3.1 se muestra un esquema de las columnas.

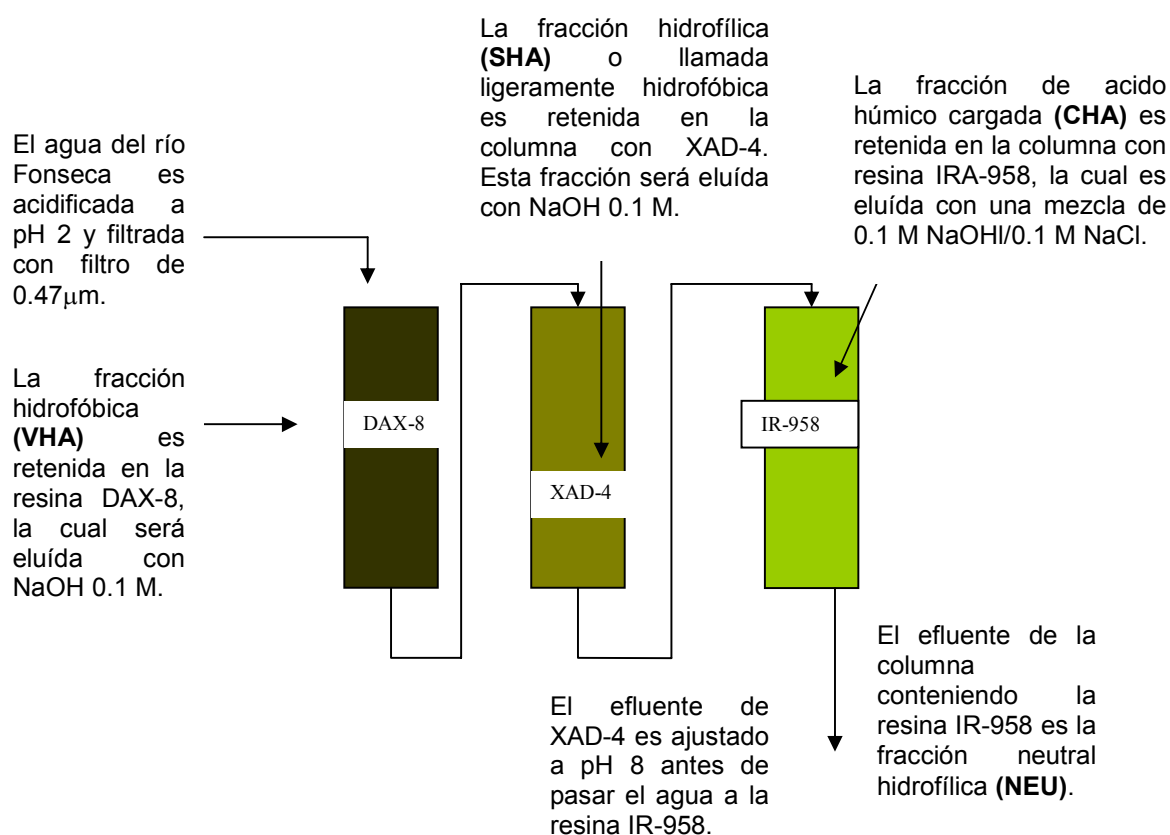


Figura 3.1 Fraccionamiento de la Materia Orgánica en el Agua del Río Fonseca.

Las resinas se colocaron en columnas de 1.5 cm de diámetro interno, longitud 30 cm y volumen de lecho de 53 mL. Las columnas se soportaron con prensas. Después que las columnas fueron rellenas con las resinas estas se prepararon químicamente de la siguiente manera:

- Se pasó 500 mL de agua desionizada seguido de 500 mL de NaOH 0.1 N, se dejaron las resinas en el NaOH toda la noche y se enjuagaron posteriormente con 500 mL de agua desionizada.
- Las resinas se lavaron nuevamente con 500 mL de NaOH 0.1 N, 250 mL de agua desionizada y 250 mL de H_3PO_4 (0.1 N).
- Las muestras, en este caso el agua del río Fonseca se filtraron con filtro de fibra de vidrio de 0.45 μm , seguido de la acidificación del agua filtrada a pH 1.9-2.0 usando H_3PO_4 .
- Para el fraccionamiento se hizo pasar 15 L de agua filtrada y acidificada del río Fonseca a través de las resinas DAX-8, XAD-4 y IRA-958 usando tres bombas peristálticas con mangueras de material orgánico. El efluente de la resina XAD-4 fue ajustado a pH 8 antes de pasar este por la resina IRA-958.
- 600 mL del efluente de cada columna fueron recolectada para análisis; los primeros 100 mL fueron descartados, el resto se utilizó para medir DOC, UV_{254} , SUVA, pH, turbiedad, color, alcalinidad, acidez, conductividad y sólidos totales disueltos (TDS). Estos mismos parámetros fueron medidos al agua cruda antes de ser filtrada o acidificada y al agua acidificada y filtrada.
- Cada fracción fue desorbida; para eluir cada una de las resinas no iónicas (DAX-8, XAD-4) se usaron 600 mL de NaOH 0.1 M, y la resina IRA-958 que es una resina fuerte de intercambio aniónico se eluyó con 600 mL de 0.1 M NaOH/0.1 M NaCl. Después cada resina fue lavada con 5400 mL de agua desionizada para hacer 6 L de cada fracción de cada columna. El pH de cada una de las fracciones fueron ajustadas a pH 7 antes de hacer experimentos de coagulación con quitosana. Las fracciones son hidrofóbica (VHA), hidrofílica (SHA) y la fracción cargada (CHA).
- Para conocer cuánto es la cantidad de material orgánico aportado por la fracción neutral (NEU), se determinó el contenido de carbono orgánico disuelto (DOC_T) en el agua cruda, y se calculó la fracción neutra hidrofílica por diferencia de acuerdo a la Ecuación 3.1. Lo mismo se hizo para UV_{254} , color y turbiedad.

$$\text{DOC}_{\text{HL-NEU}} = \text{DOC}_{\text{T}} - \text{DOC}_{\text{VHA}} - \text{DOC}_{\text{SHA}} - \text{DOC}_{\text{CHA}} \quad (3.1)$$

3.5.3 Simulación del proceso de Coagulación-Floculación-Sedimentación y Desinfección

Para simular el proceso de coagulación-floculación-sedimentación se hizo uso de la prueba de jarra (Figura 3.2), donde se tomaron 5 L de agua por fracción de NOM presente en el agua del río Fonseca y se colocó 1 L por jarra. Posteriormente a cada jarra se le adicionó quitosana. Las condiciones de operación fueron 100 rpm y 1 minutos para la agitación rápida, que es cuando se adiciona el coagulante para lograr la desestabilización de las partículas negativas de la materia orgánica presente en el agua; y 30 rpm y 30 minutos de agitación lenta para asegurar la formación de flóculos grandes y pesados que fueron removidos por gravedad en el proceso de sedimentación el cuál duró 1 hora. Posteriormente se tomaron alícuotas de la capa sobrenadante para analizar los distintos parámetros a ser medidos y que se enlistan en el punto 3.6. Este proceso se repitió cuatro veces, una vez por fracción.



Figura 3.2 Prueba de Jarra.

Después de finalizado el proceso de coagulación-floculación-sedimentación y habiendo realizado los análisis de las variables a estudiar se seleccionó la jarra que tuviera el mayor porcentaje de remoción del material aromático orgánico el cual fue medido a través de la variable UV_{254} , el agua sobrenadante de esta jarra se filtró con papel Whatman 1 para simular el proceso de filtración rápida con arena y se desinfectó con NaOCl (2mg/L) por 2 h, después se midió la cantidad de trihalometanos formados así como el cloro residual.

Para determinar la dosis de trabajo para la quitosana se hicieron experimentos preliminares.

3.6 PARÁMETROS A SER ESTUDIADOS

Las variables estudiadas en esta investigación se detallan en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Parámetros y Métodos.

Parámetro		Lugar de Medición	Método	Anexo
Fisicoquímicos y Orgánicos	Color	Laboratorio	"APHA" platino-cobalto estándar	C.1.1
	Turbiedad	<i>In situ</i>	Nefelométrico	C.1.2
	Temperatura	<i>In situ</i>	Medir con Termómetro	C.1.3
	pH	<i>In situ</i>	Electrometría	C.1.4
	Conductividad	<i>In situ</i>	Electrometría	C.1.5
	Sólidos Totales Disueltos	<i>In situ</i>	Electrometría	C.1.6
	Alcalinidad	Laboratorio	Titulación SM 2320	C.1.7
	Acidez	Laboratorio	Titulación SM 2310	C.1.8
	Carbón Orgánico Disuelto (DOC)	Laboratorio	Oxidación con Persulfato HACH 10129	C.1.9

Parámetro		Lugar de Medición	Método	Anexo
	Absorbancia Ultravioleta (UV ₂₅₄)	Laboratorio	HACH 10054	C.1.10
	Absorción Ultravioleta Específica (SUVA)	-	Formula: UV*100/DOC	-
Subproductos Desinfección	Cloro Total	Laboratorio	DPD HACH 10070	C.1.11
	Cloro Residual	Laboratorio	DPD HACH 8021	C.1.12
	Trihalometanos Totales	Laboratorio	THM plus HACH 10132	C.1.13

Toda la metodología esta descrita en el Standard Methods for Water and Wastewater Examination, (20th Edition, 1998) y en el Manual HACH DR 5000. Se siguieron todos los procedimientos para preservar las muestras de acuerdo a cada parámetro a analizar. Estos parámetros se analizaron en el agua cruda, a cada una de fracciones de materia orgánica del agua sin tratar, y a las distintas fracciones obtenidas y tratadas con quitosana. El cloro total, cloro residual y trihalometanos sólo se midieron en el agua desinfectada.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION

Una vez obtenidos los valores de los parámetros de estudio, antes y después de la prueba de jarras, se calculó el porcentaje de remoción de las mismas.

Para calcular el porcentaje de remoción de los parámetros analizados en las diferentes etapas de la fase experimental, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (3.2)$$

Donde:

C_{inicial}: Concentración inicial del analito

C_{final} : Concentración final de analito después del tratamiento

El agua de mejor calidad en cada prueba de jarras, se eligió en base a la mayor remoción de UV_{254} y por ende se conoció cual es la dosis óptima de coagulante.

4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se abordan los resultados obtenidos con respecto a las variables del estudio, iniciando con la caracterización del agua cruda en base al contenido de material orgánico; después se presenta el fraccionamiento del agua cruda en sus cuatro componentes para conocer a través de las fracciones el tipo de materia orgánica (NOM) disponible en el agua cruda, además se muestran los resultados del proceso de coagulación con quitosana realizado en cada una de las fracciones para determinar cual fracción era más fácil de tratar con este coagulante natural y en qué dosis; también se determinó la formación de trihalometanos en cada una de las fracciones tratadas con quitosana para establecer cuál de estas fracciones fue la más reactiva con el cloro.

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA DE BOACO

Las características del agua cruda se presentan en la Tabla 4.1 para la estación seca y lluviosa.

Tabla 4.1 Características del Agua Cruda de Boaco.

Estación Seca						
pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Color (mg/L)	UV ₂₅₄ (1/cm)	DOC (mg/L)	SUVA (L/mg-m)
7.7	23.9	13.8	76.0	0.165	3.7	4.5
Estación Lluviosa						
pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	Color (mg/L)	UV ₂₅₄ (1/cm)	DOC (mg/L)	SUVA (L/mg-m)
7.2	25.5	371.0	380.0	0.460	9.9	4.6

Como se puede observar el pH en ambas estaciones está dentro del rango para agua de río (6.5-8.0) (ANZZEC, 2000), siendo menor el pH en la época lluviosa lo que podría deberse al aporte de la lluvias las cuales son ligeramente ácidas y alteran el pH del río Fonseca. En cambio se puede ver que la temperatura fue

ligeramente mayor en la estación lluviosa. La turbiedad en la estación seca se encuentra en el rango de (2-25 NTU) señalados por ANZZEC (2000) para agua de ríos, pero debido a los eventos de las fuertes lluvias en este año, la turbiedad en la estación lluviosa excedió grandemente el rango antes mencionado.

Esas lluvias generaron grandes escorrentías las cuales contribuyeron a aumentar el material orgánico en el río Fonseca, esto puede observarse al comparar los valores tan altos de color, DOC, UV_{254} y SUVA en época lluviosa con los de época seca (Tabla 4.1). También se puede notar en la Tabla 4.1 que a pesar de que el material orgánico aumentó con las lluvias, las características de la NOM se mantienen iguales porque los valores de SUVA fueron casi los mismos 4.5 y 4.6 L/mg-m para época seca y lluviosa respectivamente. Estos valores de SUVA indican que el material orgánico presente en el río Fonseca es húmico acuático, muy hidrofóbico, de alto peso molecular y de origen terrestre (alóctono).

La alcalinidad fue 24.4 mg de $CaCO_3$ /L en época seca e incrementó en época lluviosa a 64.0 mg de $CaCO_3$ /L.

4.2 FRACCIONAMIENTO DEL AGUA CRUDA

Las técnicas de caracterización orgánica pueden ser utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua, no sólo para determinar la efectividad de un proceso en el tratamiento, también para identificar el comportamiento del flujo de la corriente del río y la reactividad de la fuente de agua por sus características orgánicas. Estas técnicas son normalmente utilizadas para monitorear regularmente parámetros como UV_{254} y color; porque debido a la naturaleza heterogénea de la NOM, se hace necesario separar en grupos definidos de NOM para tener mayor claridad en el efecto del proceso de coagulación y en la desinfección.

En éste estudio la fuente de agua del río Fonseca para ambas estaciones presenta carácter mayormente húmico o hidrofóbico (Tabla 4.2) ya que en esta

fracción (VHA+SHA) el contenido de DOC es preponderante en comparación con la fracción hidrofílica o no húmica (CHA y NEU). La materia orgánica medida como DOC en la fracción hidrofóbica fue 63.6% en la estación seca y 91.7% en la estación lluviosa. En cambio los DOC en la fracción hidrofílica fueron 36.4% y 8.3% para la época seca y lluviosa respectivamente. La materia orgánica del tipo hidrofóbico es más fácil de remover en el proceso de coagulación (Edzwald y Tobianson, 1999) por sus características aromáticas debido a la presencia de grupos carboxílicos, fenólicos, hidroxilos, cetonas y aldehídos (Nikolaova y Lekkas, 2001). No obstante, es más reactiva con el cloro formándose más trihalometanos si la NOM no fuese removida en las etapas previas al proceso de desinfección.

También se muestra en la Tabla 4.2 que al comparar los valores de los parámetros UV_{254} , DOC, color y SUVA para las cuatro fracciones en ambas épocas, estos disminuyen $VHA > SHA > NEU > CHA$ lo cual indica que el material orgánico está contenido principalmente en las fracciones muy hidrofóbica (VHA) y ligeramente hidrofóbica (SHA).

Tabla 4.2 Características de las Fracciones.

Estación Seca				
Tipo de Agua	Color (mg/L)	UV_{254} (1/cm)	DOC (mg/L)	SUVA (L/mg-m)
Agua Cruda (AC)	76	0.165	3.7	4.5
VHA	29	0.075	1.8	4.2
SHA	23	0.036	1.0	3.6
NEU	12	0.030	0.9	3.3
CHA	12	0.024	0.7	3.4
Total	76	0.165	4.4	3.8

Estación Lluviosa				
Tipo de Agua	Color (mg/L)	UV ₂₅₄ (1/cm)	DOC (mg/L)	SUVA (L/mg-m)
Agua Cruda (AC)	380.0	0.460	9.9	4.6
VHA	316.0	0.395	8.5	4.6
SHA	52.0	0.062	1.5	4.1
NEU	14.0	0.018	0.6	3.0
CHA	0.0	0.003	0.3	1.0
Total	382.0	0.478	10.9	4.4

En la Figura 4.1 se indica el porcentaje de distribución del DOC en las cuatro fracciones para ambas estaciones climatológicas. La materia orgánica natural del río Fonseca fue mayor en las fracciones VHA y SHA en comparación con las fracciones NEU y CHA.

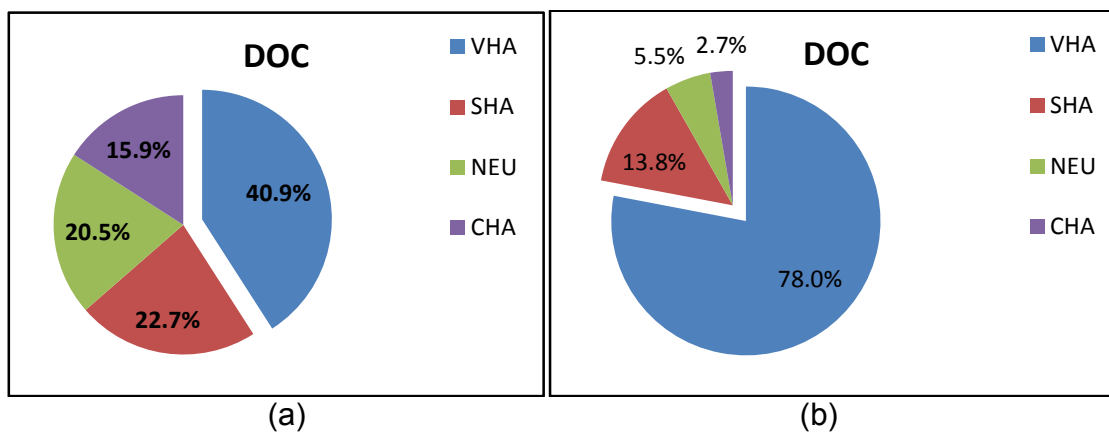


Figura 4.1 Distribución de DOC en Estación Seca (a) y Estación Lluviosa (b).

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA FRACCIONADA Y COAGULADA

Absorbancia Ultravioleta (UV_{254})

La reducción de la materia aromática medida como UV_{254} se presenta en la Figura 4.2. Se puede observar que el contenido de materia orgánica aromática en las fracciones VHA y SHA se remueven más cuando se utiliza dosis de quitosana de 4 y 6 mg/L respectivamente. En cambio, en la fracción NEU, el material orgánico no fue removido del todo; y fue necesaria una dosis de 4 mg/L para la disminución de UV_{254} en la fracción CHA. Así mismo se puede observar que en vez de disminuir el contenido aromático de las distintas fracciones a medida que incrementa la dosis de coagulante (> 8 mg/L), éste aumenta, lo cual puede deberse a cierto exceso de coagulante adicionado ocasionando un exceso de carga positiva las cuales se repelen. El porcentaje de remoción de UV_{254} para agua tratada fue del 14.5%, el cual es mucho más bajo que el rango de remoción del 30-60% reportado por Rizzo et al. (2008) para aguas coaguladas con quitosana.

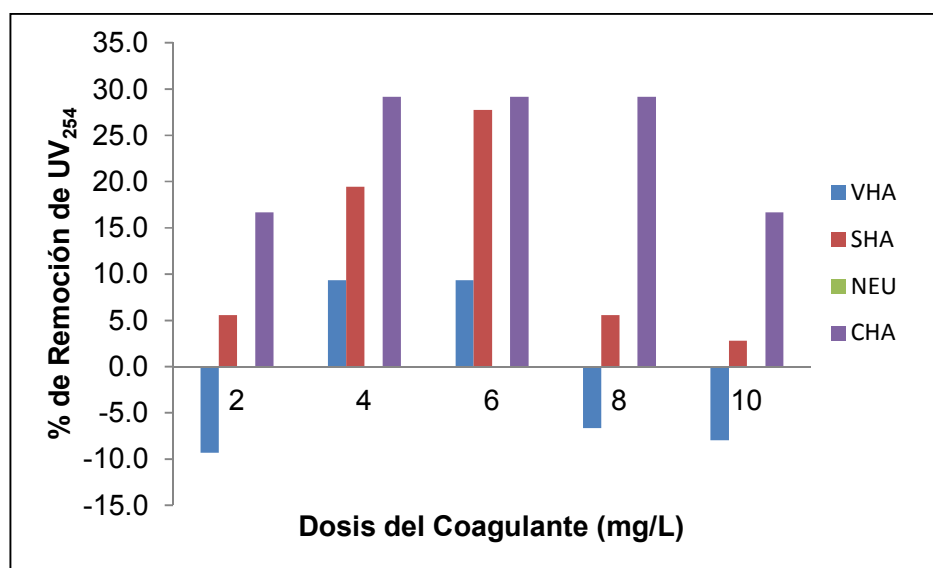


Figura 4.2 Porcentaje de Remoción de UV_{254} , época seca.

En el caso de la remoción del UV_{254} en la estación lluviosa se tuvieron que adicionar dosis más altas de quitosana para lograr la desestabilización de las cargas negativas de la NOM por los grupos aminos de carga positiva presente en

la quitosana (Figura 4.3). Usando una dosis de 16 mg/L de quitosana permitió obtener la mayor remoción de UV_{254} en las fracciones VHA y NEU, y con una dosis de 8 mg/L en las fracciones SHA y CHA.

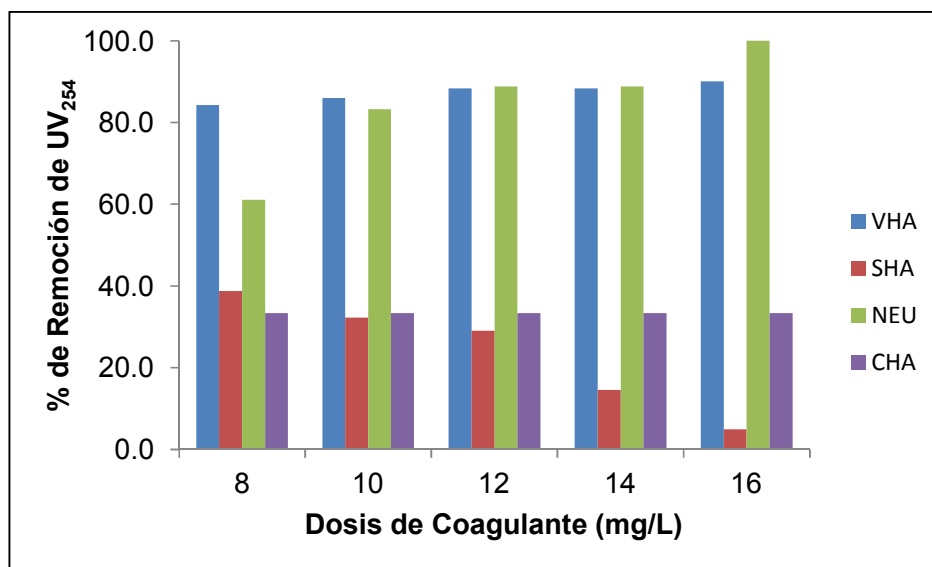


Figura 4.3 Porcentaje de Remoción de UV_{254} , época lluviosa.

En la época lluviosa, la remoción de UV_{254} en el agua tratada fue del 83.5%, siendo este valor mucho mayor al porcentaje de remoción de UV_{254} con quitosana (30-60%) señalado por Rizzo et al. (2008) en aguas coaguladas sin fraccionar. Esto se explica porque aguas más ricas en material orgánico son más fáciles de coagular debido a que distancia entre las partículas de carga negativas en el agua son menores y por ende las fuerza de repulsión también aumentan por el traslape de sus capas difusas, lo que al adicionar el coagulante en concentraciones mayores hace que la fuerza de repulsión disminuya porque hay más iones positivos disponibles para neutralizar la carga negativa de la materia orgánica.

El material hidrofóbico tiende a ser removido preferencialmente en el proceso de coagulación debido a que es menos soluble en agua, de mayor peso molecular y tamaño. Los porcentajes de remoción de UV_{254} en las fracciones VHA y SHA fueron 90.1% y 38.7% respectivamente. El contenido aromático fue removido 33.3% en la fracción CHA y 100% en la NEU. Este porcentaje tan alto de remoción

de la fracción NEU es inusual porque esta fracción es recalcitrante a ser removida con sulfato de aluminio como coagulante.

Carbono Orgánico Disuelto (DOC)

La cantidad de DOC presente en las fracción hidrofóbica (VHA+SHA) del agua coagulada en época seca es mayor que en la fracción hidrofílica (CHA+NEU) como se observa en la Figura 4.4, lo cual debido a que la disminución del DOC en la fracción hidrofóbica fue del 12.7%, siendo este valor menor que el 15.2% de remoción en la fracción hidrofílica. También se puede ver en esa misma figura que el DOC de la fracción cargada (CHA) incrementó en vez de disminuir.

La remoción de DOC del agua tratada (AT) fue del 13.6%. Machenbach (2007) reporta que la quitosana es un pobre coagulante en aguas con bajo contenido de material orgánico como ocurre en la época seca.

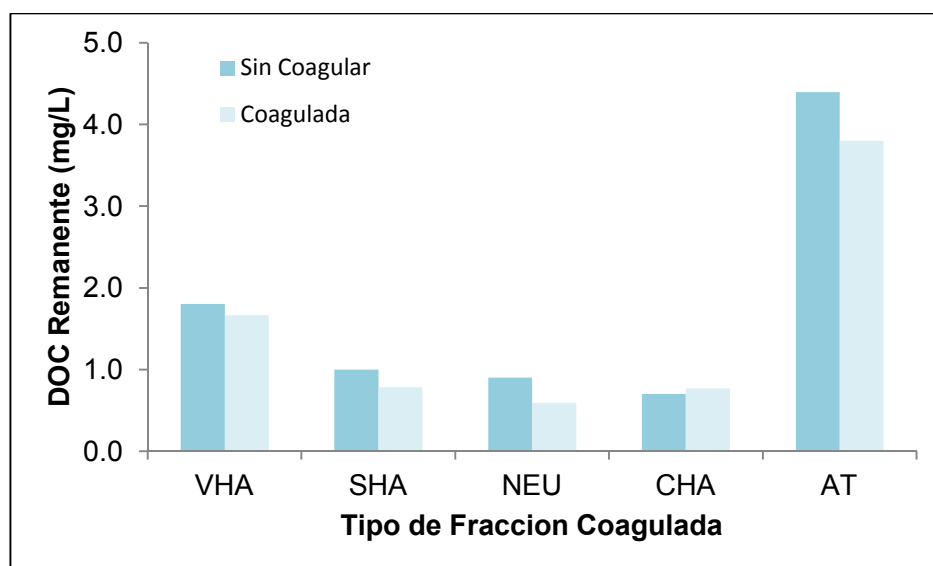


Figura 4.4 DOC Remanente, época seca.

Sin embargo en época lluviosa, al igual que sucede en la remoción de UV_{254} para esta época; el contenido de materia orgánica disuelta medida como DOC decreció

significativamente (Figura 4.5). La remoción de DOC para el agua tratada fue de 75.8%. Se puede observar como el DOC en las fracciones VHA y SHA es más removido que en las fracciones NEU y CHA. En la fracción hidrofóbica, el DOC disminuyó 79.1% y en la fracción hidrofílica 38.4%.

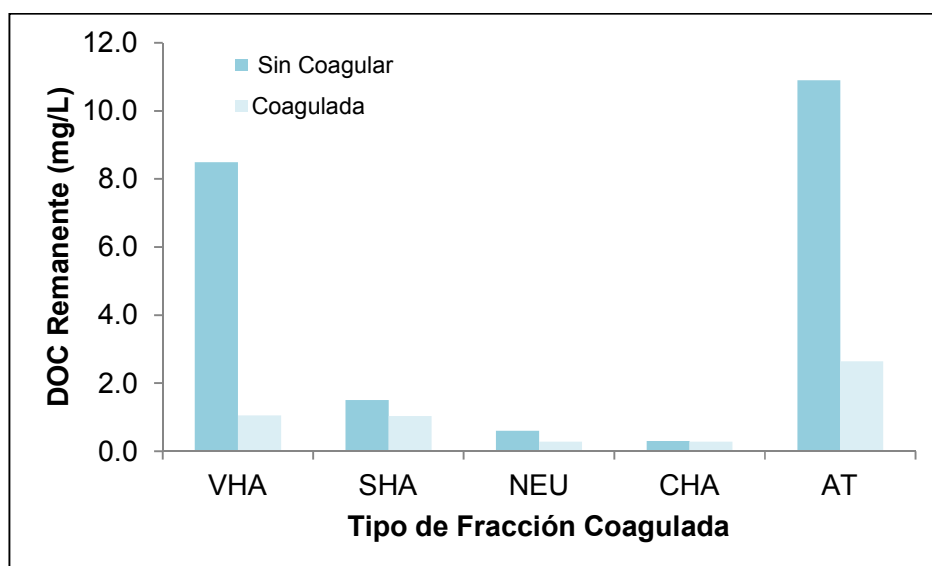


Figura 4.5 DOC Remanente, época lluviosa.

Absorbancia Específica Ultravioleta (SUVA)

El tipo de material orgánico después de ser tratada el agua con quitosana como coagulante es una mezcla de material húmico hidrofóbico e hidrofílico, de alto y bajo peso molecular, de tamaño de moléculas pequeñas y grandes; y reactiva con el cloro en el proceso de desinfección. Esto es debido a que el SUVA en las aguas coaguladas fraccionadas totales fue de 3.7 L/mg-m para la época seca y 3 L/mg-m para la época lluviosa.

Los valores de SUVA en las aguas sin tratar (Tabla 4.2) fueron 3.8 y 4.4 L/mg-m para las estaciones seca y lluviosa respectivamente. Es decir que el valor del SUVA en el agua tratada en la época seca no varió; pero en la época lluviosa decreció 31.8%, lo cual cambió las características del material orgánico en el agua tratada con quitosana.

Color

El color en el agua tratada fue disminuido 57.9% en la época seca y 93.0% en la época lluviosa. Este porcentaje tan alto de disminución de color excede al 80.0% de remoción encontrado por Rizzo et al. (2008) para aguas tratadas con quitosana. No obstante las concentraciones de color en el agua tratada con quitosana fueron 32 y 27 mg/L Pt-Co para la estación seca y lluviosa respectivamente, valores que sobrepasan el valor normado de 15 mg/L Pt-Co para agua potable. También se puede ver que al comparar las Figuras 4.6 y 4.7, el contenido de material orgánico medido como color era mayor en época de lluvia pero su remoción fue más fácil. Así mismo, al igual que UV_{254} y DOC en la época seca, el color presentó el mismo comportamiento de ser menos removido en la fracción hidrofóbica (48.1%) que en la fracción hidrofílica (79.2%). En cambio, en la época lluviosa las remociones fueron 92.7% y 100% para las fracciones hidrofóbica e hidrofílica respectivamente.

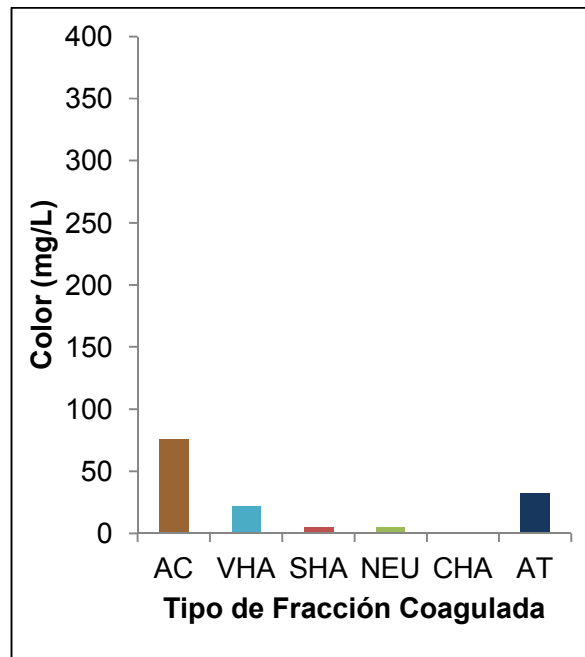


Figura 4.6 Comportamiento de Color, época Seca.

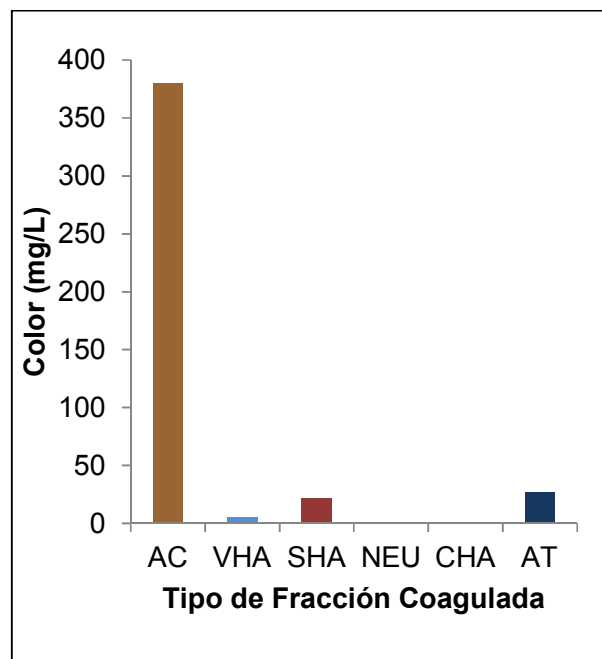


Figura 4.7 Comportamiento de Color, época lluviosa.

4.4 FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS (THMs)

La concentración de trihalometanos encontrada en época seca fue de 118.0 $\mu\text{g/L}$ (Figura 4.8), este valor excede el criterio recomendado de 80 $\mu\text{g/L}$ por la USEPA (1998); pero no el valor máximo admisible de 460 $\mu\text{g/L}$ de la Normativa CAPRE (2002). Este valor tan alto de trihalometanos en esa época se debe a las remociones bajas de materia orgánica medidas como UV_{254} , DOC y color lo que ocasionó mayor presencia de compuestos orgánicos en la etapa de desinfección. La fracción que contribuyó más a la formación de trihalometanos fue la VHA seguida de la SHA, CHA y NEU. La fracción hidrofóbica (VHA+SHA) contribuye en 60.2% a la formación de trihalometanos y la fracción hidrofílica 39.8%. Esto se debe a que la fracción hidrofóbica es más reactiva con el cloro y fue menos removida en comparación con la fracción hidrofílica.

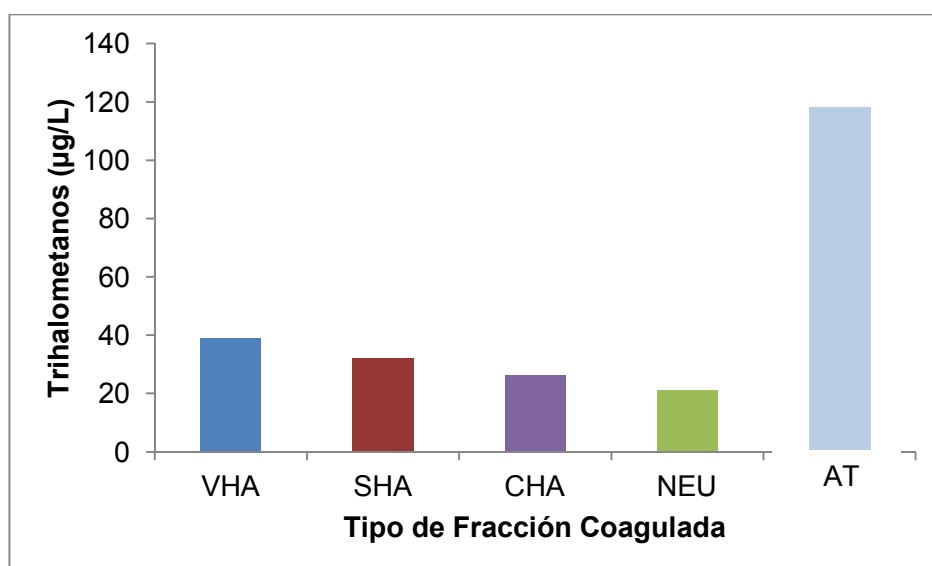


Figura 4.8 Concentracion de Trihalometanos, época seca.

En la época lluviosa, la concentración de trihalometanos disminuyó considerablemente (Figura 4.9) a pesar de que en esta época el contenido de materia orgánica era mucho mayor que en la época seca, pero fue removido en un alto porcentaje lo que causó que su disponibilidad en el proceso de desinfección fuera poca. La concentración de THMs fue de 74.0 $\mu\text{g/L}$ por lo que este valor no excede ninguno de los valores de THMs normados por la USEPA (1998) y CAPRE

(2002). Al igual que en la época seca, la fracción que más contribuye a la formación de trihalometanos es la hidrofóbica con 64.9% y en menor proporción la fracción hidrofílica con 35.1%. Así mismo la tendencia en la formación de trihalometanos para las fracciones es VHA>SHA>CHA>NEU. La fracción hidrofóbica es muy competitiva por el cloro.

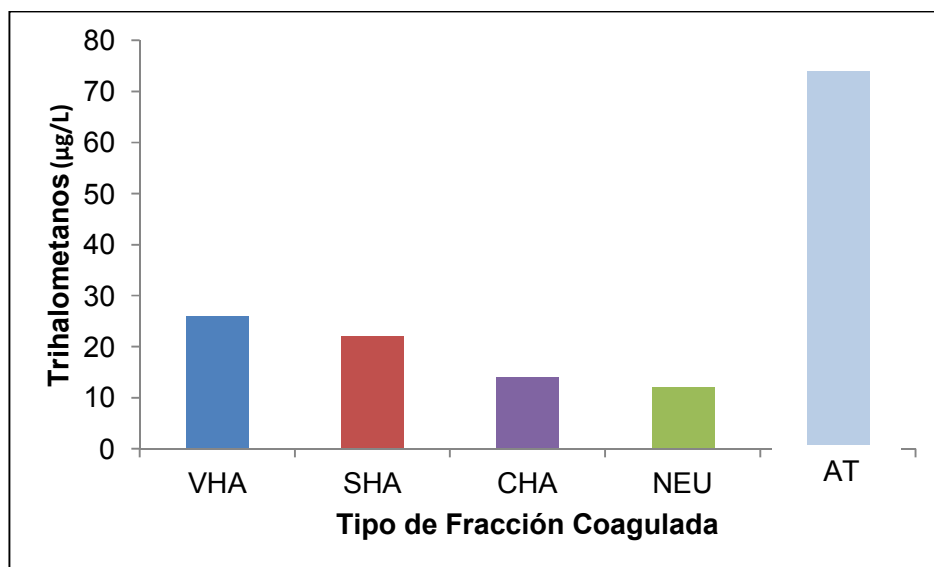


Figura 4.9 Concentracion de Trihalometanos, época lluviosa.

5.0 CONCLUSIONES

La caracterización del agua cruda proveniente de la Planta Potabilizadora de Boaco, mostró que en la época seca el contenido de material orgánico era mucho menor que en la época lluviosa. Sin embargo, las características de la materia orgánica eran similares ya que los valores de la absorbancia específica ultravioleta (SUVA) eran los mismos para ambas estaciones climatológicas; indicando que la materia orgánica era principalmente del tipo húmica, de alto peso molecular, muy hidrofóbica.

Al fraccionar el agua cruda en cuatro componentes: muy hidrofóbica, ligeramente hidrofóbica, cargada y neutral; la fracción hidrofóbica (VHA+SHA) representó el 63.6% en la época seca y 91.7% en la época lluviosa. En cambio, la fracción hidrofílica fue 36.4% y 8.3% para esas estaciones respectivamente. El comportamiento de los parámetros UV_{254} , color, DOC y SUVA en las cuatro fracciones disminuye en el siguiente orden VHA>SHA>NEU>CHA.

Los porcentajes de remoción del material orgánico después del proceso de coagulación fueron menores a 57.9% en época seca, e incrementaron a valores superiores a 75.8% en época lluviosa. La fracción hidrofóbica fue removida preferencialmente en la etapa de coagulación en comparación con la fracción hidrofílica en la época lluviosa. En la época seca la fracción hidrofílica de bajo peso molecular fue la más removida. Las características del material orgánico resultante de esta etapa de tratamiento es una mezcla de material húmico de naturaleza hidrofóbica e hidrofílica, de alto y bajo peso molecular.

Debido a las bajas remociones de material orgánico en época seca, la concentración de trihalometanos fue de 118.0 $\mu\text{g/L}$ valor que excede el valor normado por la USEPA pero no el de la normativa CAPRE. En cambio, en la época lluviosa los trihalometanos disminuyeron a 74.0 $\mu\text{g/L}$. En ambas estaciones, la fracción que más contribuyó a la formación de trihalometanos fue la hidrofóbica.

5.1 RECOMENDACIONES

- Continuar con este tema de investigación realizando más experimentos del mismo tipo o usando una combinación de sulfato de aluminio como coagulante y quitosana como floculante haciendo uso siempre de agua cruda proveniente del Río Fonseca.
- Seguir realizando experimentos con quitosana como coagulante en la simulación del tratamiento convencional para potabilización con otros productos en la etapa de desinfección para conocer la reactividad de éstos con la materia orgánica natural que no removi6 el coagulante.
- Hacer un estudio comparativo entre el agua tratada con quitosana y el agua tratada por la planta potabilizadora de Boaco.

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANZECC. (2002). Guías de calidad de agua frescas de Australia y Nueva Zelanda.
- Asamblea Nacional de Nicaragua. (2007). Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620). Managua, Nicaragua.
- Bernhardt, H. y Cleasen, J. (1996). Elimination of micro-organisms illustrated with reference to the treatment of reservoir water. GWF-Wasser/Abwasser. **137**, 109-116.
- Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R. y King, S. (1998). The use of cationic polymers as primary coagulants in water treatment. In: Hahn, H.H., Hoffmann, E. and Odegaard, H. (Editors). Proceedings of the Fifth Gothenburg Symposium. Chemical Water and Wastewater Treatment. Berlin, Springer. 173-182.
- Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R. y King, S. (2001). Cationic polymer and clay or metal oxide combinations for natural organic matter removal. J. Water Research. **35(11)**, 2669-2676.
- Bratby J. (2007). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2nd Edition. IWA Publishing.
- Bolto, B. y Gregory, J. (2007). Organic poly-electrolytes in water treatment. J. Water Research. **41**, 2301-2324.
- Buchanan, W., Roddick, F., Porter, N. y Drikas, M. (2005). Fractionation of UV and VUV pre-treated natural organic matter from drinking water. J. Environmental Science Technology. **39(12)**, 4647-4654.

- CAPRE, Guías de Calidad de Agua. (2002). Comité Regional para la institución del agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado, INAA. Ente Regulador. Managua, Nicaragua.
- Cárdenas, Y.A. (2000). Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Tratamiento de agua. SEDEPAL.
- Chow, C.W.K., Fabris, R. y Drikas, M. (2004). A rapid fractionation technique to characterise natural organic matter for the optimisation of water treatment processes. J. Water Supply Research Technology-AQUA. **53(2)**, 85-92.
- Dodds, W.D., King, C.W. y Pole, J. (1999). Trihalomethanes in public water supplies and adverse birth outcomes. J. Epidemiology. **10(3)**, 233-237.
- Edzwald, J.K. y Tobiasson, J.E. (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. J. Water Science Technology. **40(9)**, 63-70.
- Eikebrokk, B. y Saltnes, T. (2002). NOM removal from drinking water by chitosan coagulation and filtration through lightweight expanded clay aggregate filters. J. Water Supply Research Science Technology-AQUA. **51(6)**, 323-332.
- ENACAL, Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (2007). "ABC sobre el recurso agua y su situación en Nicaragua." 2^{da}. Edición. Managua, Nicaragua.

- Gregory, J. (2006). Particles in water, properties and processes. University College. London, England.
- Gutiérrez, L. y Medrano. J. (2003). Remoción de los precursores de los subproductos de la desinfección del cloro en la planta potabilizadora de la ciudad de Boaco usando coagulación mejorada. Tesis. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería, UNI. Managua, Nicaragua. 20-23.
- HACH DR 5000 Spectrophotometer. (2005). User Manual. 1st Edition.
- Hong S. y Elimelech M. (1997). Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membrane. J. Membrane Science. **132**, 152-181.
- Kawamura, S. (1976). Considerations on improving flocculation. J. American Water Works Association. **68(6)**, 328–336.
- Leenher, J.A. (1981). Comprehensive approach to preparative isolation and fractionation of dissolved organic carbon from natural waters and wastewater. J. Environmental Science Technology. **15(5)**, 578-587.
- Leenher, J.A. y Croué, J.P. (2003). Characterizing dissolved aquatic organic matter. J. Environmental Science Technology. **37(1)**, 18A-26A.
- Maartens, A., Swart, P. y Jacobs, E.P. (1998). Humic membrane foulants in natural brown water: Characterization and removal. J. Desalination. **115**, 215-227.

- Machenbach, I. (2007). Drinking water production by coagulation and membrane filtration, Doctoral thesis. Norwegian University of Science and Technology. 77-78.
- McGeehin, M.A., Reif, J.S., Becher, J.C. y Mangione, E.J. (1993). Case control study of bladder cancer and water disinfection methods in Colorado. J. Epidemiology. **138(7)**, 492-501.
- McLachlan, D.R.C. (1995). Aluminium and Alzheimer's disease. J. Envirometrics. **6(3)**, 233-275.
- MINSA, Ministerio de Salud. (2004). Plan Nacional de Salud 2004-2015; Managua, Nicaragua.
- Muzzarelli, L. (1977). Chitin, chelation of metal ion. Pergamum Press, Oxford. 145.
- Narkis, N., Ghattas, B., Rebhun, M. y Rubin, A.J. (1991). The mechanism of flocculation with aluminium salts in combination with polymeric flocculants as flocculant aids. J. Water Supply. **9**, 37-44.
- Nikolaova, A., y Lekkasa, T. (2001). The role of natural organic matter during formation of chlorination by-products. A Review. Acta Hydrochimica Hydrobiology. **29(23)**, 63- 77.
- Platikanova S., Puiga X., Martín J., y Taulera R. (2007). Chemometric modeling and prediction of trihalomethane formation in Barcelona's water works plant. A Department of Environmental Chemistry. IIQAB-CSIC, Barcelona, Spain.

- Renault F., Sancey B., Badot P. y Crini G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes. An eco-friendly approach. J. European Polymer. **45**, 1337-1348.
- Rizzo, L., Di Gennaro, A., Gallo, M. y Belgiorno, V. (2008). Coagulation/chlorination of surface water: A comparison between chitosan and metal salts. J. Separation Purification Technology. **62**, 79-85.
- Romero, J. (1999). Calidad del agua. 1^{ra} Edición, Editorial ALFAOMEGA, México.
- Rook, J.J. (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural waters. J. Water Treatment Examination. **23**, 234-243.
- Rout, D., Verma, R. y Agarwal, S.K. (1999). Polyelectrolyte treatment. An approach for water quality improvement. J. Water Science Technology. **40(2)**, 137-141.
- Simpson, K.L. y Hayes, K.P. (1998). Drinking water disinfection byproducts: an Australian perspective. J. Water Research. **32(5)**, 1522-1528.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1998). 20th Edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington DC, USA.
- Thurman, E.M., Wershaw, R.L., Malcolm R.L. y Pinckney D.J. (1982). Molecular size of aquatic humic substances. J. Org. Geochem. **4**, 27-35.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (1998). Enhanced coagulation and enhanced precipitative softening guidance manual.

Environmental Protection Agency. United States. Office of Water. EPA 815-R-99-012.

- Villanueva, M., Kogevinas, J. y Grimalt, O. (2001). Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. Gaceta Sanitaria. **5(1)**, 48-53.

Sitios Web Visitados en los meses de Enero a Junio

http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable

<http://www.analizacalidad.com/paragua.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Coagulante>

<http://cabierta.uchile.cl/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf>

<http://www.lenntech.es/adsorcion.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/>

[Calidad del aguahttp://es.wikipedia.org/wiki/Conceptosbasicosdelagua](http://es.wikipedia.org/wiki/Conceptosbasicosdelagua)

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_1+.pdf

[http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento del agua %28tecnolog%C3%ADas altern
ativas%29#Coagulaci.C3.B3n y floculaci.C3.B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_del_agua_%28tecnolog%C3%ADas_alternativas%29#Coagulaci.C3.B3n_y_floculaci.C3.B3n)

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_8.pdf

<http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/BOACO/boaco.pdf>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Enfermedades de origen h%C3%ADrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Enfermedades_de_origen_h%C3%ADrico)

http://www.aspb.es/quefem/docs/THMs_esp.pdf

ANEXO A:**NORMAS CAPRE****A.1 NORMAS DE CALIDAD PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO**

Parámetros Organolépticos			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor dilución	0	2°C a 12 °C 3°C a 25°C
Sabor	Factor dilución	0	2°C a 12 °C 3°C a 25°C
Parámetros Fisicoquímicos			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Iones Hidrógeno	pH	6.5 a 8.5	
Cloro Residual	mg/L	0.5 a 1.0	5**
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µS/cm	400	
Dureza	mg/L CaCO ₃	40	
Sulfatos	mg/L CaCO ₃	25	250
Aluminio	mg/L		0.2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100	
Cobre	mg/L	1.0	2.0
Magnesio	mg/L	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L	-	10
Sólidos Totales	mg/L	-	1000

Disueltos			
Zinc	mg/L	-	3.0
Parámetros Para Sustancias No Deseadas			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Nitratos (NO_3^-)	mg/L	25	45
Nitritos (NO_2^-)	mg/L	0.1	1
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L		0.3
Manganeso	mg/L	0.1	0.5
Fluoruro	mg/L	0	0.7 a 1.5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	0	0.05

Fuente: CAPRE, 2002.

ANEXO B: HERRAMIENTAS DE RECOLECCION DE DATOS

B.1 FICHA DE CAMPO


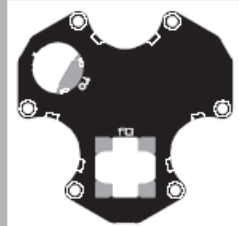
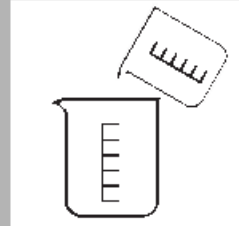
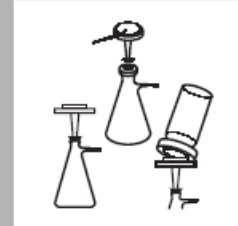
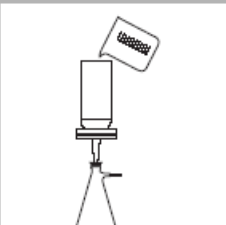
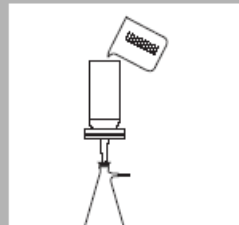
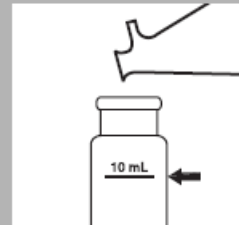
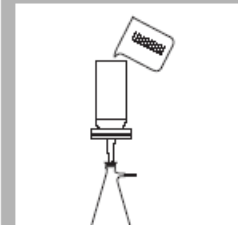
Fecha:	
Hora de Muestreo:	
Lugar:	
Número de Muestreo:	
Parámetros In Situ	Valores Obtenidos
Temperatura (°C)	
pH	
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	
Conductividad (µS/cm)	
Turbiedad (NTU)	

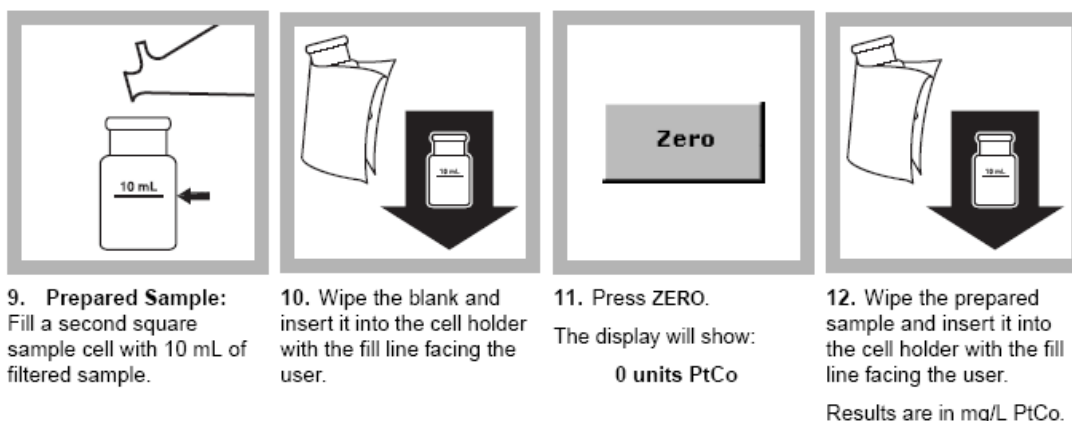
B.2 FICHA DE LABORATORIO

Fraccionamiento NOM											
	pH	Temp.	Conduc.	STD	NTU	Alcali.	Acidez	Color	UV	TOC	THM
AC											
AC _{pH2}											
Efl. DAX-8											
Efl. XAD-4											
Neutral											
VHA											
SHA											
CHA											
VHA _{pH7}											
SHA _{pH7}											
CHA _{pH7}											
Neutral _{pH7}											
VHA _{Coag. Jar1}											
VHA _{Coag. Jar2}											
VHA _{Coag. Jar3}											
VHA _{Coag. Jar4}											
VHA _{Coag. Jar5}											
SHA _{Coag. Jar1}											
SHA _{Coag. Jar2}											
SHA _{Coag. Jar3}											
SHA _{Coag. Jar4}											
SHA _{Coag. Jar5}											
CHA _{Coag. Jar1}											
CHA _{Coag. Jar2}											
CHA _{Coag. Jar3}											
CHA _{Coag. Jar4}											
CHA _{Coag. Jar5}											
Neutral _{Coag. Jar1}											
Neutral _{Coag. Jar2}											
Neutral _{Coag. Jar3}											
Neutral _{Coag. Jar4}											
Neutral _{Coag. Jar5}											

ANEXO C: METODOS PARA LA DETERMINACION DE PARAMETROS

C.1.1 Color Real

Platinum-Cobalt		Method 8025	
 <p>1. Select the test. NCASI: Use Program 125 for the NCASI test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker. NCASI: Adjust the pH as described in Test Preparation.</p>	 <p>4. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator). NCASI: Test prescribes a 0.8-micron filter.</p>
 <p>5. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.</p>	 <p>6. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.</p>	 <p>7. Blank Preparation: Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 6. Discard the excess water in the flask.</p>	 <p>8. Pour about 50 mL of sample through the filter.</p>



C.1.2 Turbiedad (0 a 999 NTU)

Este parámetro es determinado usando el Turbidímetro 2010P “HACH”. Este dispositivo fue previamente calibrado por la fábrica con formazina para la primera vez que debería ser usado. Se recoge la muestra y se coloca en una celda del 2100P hasta la línea (cerca de 15 ml) teniendo cuidado de manipular la celda por la parte superior tapando la celda. A continuación se procede con los siguientes pasos:

- Limpiar la celda con una tela suave y sin hilachas, para quitar gotas de agua y huellas digitales.
- Aplicar una capa fina de aceite de silicona. Limpiar con una tela suave para obtener una capa más fina en toda la superficie.
- Presionar el botón 1/0. El instrumento se enciende, se coloca el instrumento en una superficie plana y firme.
- Se pone la celda de la muestra en el compartimiento del instrumento de tal manera que las marcas de la celda y el compartimiento coincidan.

- Escoger selección de rango manual o automática presionando RANGE, cuando el instrumento esta en selección automática de rango la pantalla mostrará: AUTORNG.
- Se selecciona el modo de señal promedio presionando SIGNAL AVERAGE. La pantalla mostrará SIG AVG, cuando el instrumento esté usando promedio de señal. Usar el modo de señal promedio, si la muestra causa una señal ruidosa (la pantalla cambia constantemente).
- Presionar READ. La pantalla mostrará la turbidez en NTU. Apuntar la turbidez después de que se apaga la luz.

C.1.3 Temperatura

Este parámetro se mide en el momento de la toma de las muestras. Usando un termómetro o leyendo el valor en el pH metro "HACH".

C.1.4 pH

Este parámetro es medido en el momento que la muestra fue tomada usando la combinación del método pH electrodo y un medidor portátil HACH 2010. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón dispensador una vez (hasta que haga click).
- Enjuague bien con agua de desmineralizada y seque. Poner el electrodo en el contenedor de la muestra.
- Apuntar el valor del pH cuando la pantalla esté estable.
- Enjuagar el electrodo completamente con agua desmineralizada y secarlo bien.

C.1.5 Conductividad

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P “HACH”, y es medido en el momento que la muestra fue tomada. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada el electrodo y seque bien.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de conductividad cuando la pantalla es estable.
- Enjuague el electrodo completamente y seque.

C.1.6 Sólidos Totales Disueltos (STD)

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P “HACH”, y es medido en el momento que la toma de muestra. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de STD cuando la pantalla es estable. (La compensación automática de temperatura corrige los cambios de temperatura)

- Enjuague el electrodo y seque.

C.1.7 Alcalinidad: Método de Titulación (SM 2320)

Discusión General

a) Principio: Los iones hidróxilos presente en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácidos estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado. Para muestra de alcalinidad baja (menos de 20 mg de CaCO_3/L), utilícese una técnica de extrapolación basada en la proporcionalidad cercana de la concentración de hidrogeniones y el exceso de reactivo más allá del punto de equivalencia. Se mide con precisión la cantidad de ácido estándar requerida para reducir el pH exactamente en 0.30 unidades. Como este cambio del pH corresponde a una duplicación exacta de la concentración de hidrogeniones, puede hacerse una extrapolación simple para el punto de equivalencia.

b) Puntos Finales: Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en esta fase. Esta concentración depende, a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación. Como puntos de equivalencia de las concentraciones de alcalinidad correspondientes, en mg de CaCO_3/L , se sugieren los valores de pH que se expresan a continuación. Alcalinidad de fenolftaleína es un término empleado tradicionalmente para designar la cantidad medida mediante titulación a pH 8.3, independientemente del indicador de color utilizado en su caso para la determinación. Las llamativas variaciones de color producidas por el púrpura de metacresol (pH 8.3) y el verde de bromocresol (pH 4.5) conceden utilidad a estos indicadores para la titulación de alcalinidad.

c) *Interferencias:* Los jabones, las materias oleosas y los sólidos en suspensión o precipitados pueden recubrir el electrodo de vidrio y causar una respuesta retardada. Déjense un tiempo adicional entre las adiciones del reactivo para permitir que el electrodo recupere el equilibrio, o límpiense éste en su caso. No se debe filtrar, diluir, concentrar o alternar la muestra.

d) *Selección del Método:* Determinése la alcalinidad de la muestra a partir del volumen de ácido estándar requerido para titular una porción a un pH determinado. Titúlese a temperatura ambiente con un medidor de pH adecuadamente calibrado o un titulador eléctrico, o utilizando indicadores de color. Infórmese de una alcalinidad menor de 20 mg/L de CaCO_3 solamente si ha sido determinada por el método de alcalinidad baja. Confecciónese una curva de titulación para estandarización de los reactivos. Los indicadores de color puede utilizarse para titulaciones habituales y de control en ausencia de color y turbidez que puedan interferir, y en titulaciones preliminares para seleccionar el tamaño de la muestra y la potencia del reactivo.

e) *Tamaño de la Muestra:* Tome 50 mL de muestra y titule con ácido sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl) 0.02 ó 0.1 N. Si se sigue el método de alcalinidad baja, titúlese una muestra de 20 mL con H_2SO_4 0.02 N, a partir de una bureta de 10 mL.

f) *Toma de Muestras y Conservación:* Recójense las muestras en botellas de polietileno o vidrio boro-silicato y consérvense a baja temperatura. Llénense las botellas por completo y tápanse herméticamente.

Aparatos

a) *Titulador Electrométrico:* Utilícese cualquier medidor de pH disponible en el mercado o un titulador electrolítico provisto de un electrodo de cristal y que pueda ser leído hasta unidades de pH 0.05. Estandarícese y equilíbrense con arreglo a las instrucciones del fabricante. Debe presentarse una especial

atención a la compensación de la temperatura y al cuidado del electrodo. Si la temperatura no se compensa de forma automática, titúlese a 25 ± 5 °C.

b) Vaso de Titulación: Su tamaño y forma dependerán de los electrodos y del tamaño de la muestra. El espacio queda libre sobre la muestra debe ser lo más reducido posible, dejando sitio para el reactivo y la inmersión completa de la porción indicadora de los electrodos. Para electrodos de tamaño convencional, llénese un vaso Berzelius sin ranuras, de tipo alto con una capacidad de 200 mL. Colóquese un tapón con tres orificios, para ajustar los dos electrodos y la bureta. Con un electrodo miniatura de combinación vidrio-referencia, empléese un erlenmeyer de 125 ó 250 mL con un tapón de dos orificios.

c) Agitador Magnético

d) Pipeta Volumétricas

e) Matraces Volumétricos de 100 y 1000 mL

f) Buretas, 50, 25 y 10 mL

g) Botella de Poliolefina, 1L

Reactivos

a) Solución de Carbonato Sódico, aproximadamente 0.05 N: Séquense entre 3 y 5 g de Na_2CO_3 estándar primario a 250°C durante 4 h y enfríense en desecador. Se pesan 2.5 ± 0.2 mg y se transfiere a un matraz volumétrico de 1 litro, llenando hasta la marca con agua destilada y mezclando el reactivo. No debe conservarse más de una semana.

b) Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0.1 N: Prepárese la solución ácida de normalidad aproximada a la indicada en preparación de reactivos de mesa. Estandarícese frente a una solución de 40 mL de Na_2CO_3 0.05 N en probeta, con unos 60 mL de agua, titulando potenciométricamente a un pH aproximado

de 5. Elévense los electrodos, enjuáguese en la misma probeta y háganse hervir suavemente durante 3-5 minutos cubriendo con un vidrio de reloj. Enfríese a temperatura ambiente, enjuáguese el cristal en la probeta y conclúyase la operación titulando en el punto de inflexión de pH. Calcúlese la normalidad.

$$Normalidad = \frac{A \times B}{53.0 \times C} \quad (C.1)$$

Donde:

A = g de Na_2CO_3 , pesados en matraz de 1 L

B = mL de solución de Na_2CO_3 tomados para titulación

C = mL de ácido empleados

c) Utilícese la normalidad medida en los cálculos o ajústese a 0.1000 N; 1 mL de solución 0.1000 N = 5.0 mg de CaCO_3 .

d) *Ácido Sulfúrico o Clorhídrico Estándar, 0.02 N:* Dilúyanse 200.0 mL de ácido estándar 0.1000 N hasta 1000 mL de agua destilada o desionizada. Estandarícese mediante titulación potenciométrica de 15.0 mL de Na_2CO_3 0.05 N, donde 1 mL = 1.0 mg de CaCO_3 .

e) *Solución Indicadora de Verde de Bromocresol, Indicador de pH 4.5:* Disuélvanse 100 mg de púrpura de verde de bromocresol, sal sódica, en 100 mL de agua destilada.

f) *Solución Indicadora de Púrpura de Metacresol, Indicador de pH 8.3:* Disuélvanse 10 mg de púrpura de metacresol en 100 mL de agua.

g) *Solución Alcohólica de Fenolftaleína, Indicador a pH 8.3:* Ver procedimiento C.1.8.

h) *Tiosulfato sódico, 0.1 N*: Dilúyanse 25 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disuélvanse en 1000 mL en agua destilada.

Procedimiento

a) *Cambio de Color*: Ajústese la muestra a la temperatura ambiente si es necesario, y vacíese con pipeta en un erlenmeyer, manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz. Si existe cloro residual libre, añádanse 0.05 mL (dos gota) de solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M, o destrúyase mediante la aplicación de rayos ultravioleta. Añádanse 0.2 mL (cinco gotas) de solución indicadora y titúlese sobre la superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente, característico del punto de equivalente. Puede emplearse las soluciones o los sólidos indicadores que se encuentran disponibles en el mercado diseñados para margen adecuado de pH (3.7 u 8.3), invéstiguese el color de la misma cantidad a una solución tampón al pH designado.

Cálculo

a) *Titulación Potenciométrica a pH de Punto Final*:

$$\text{Alcalinidad} = \frac{A \times N \times 50000}{\text{Volumen de Muestra (mL)}} \quad (\text{C.2})$$

Donde:

A = mL utilizados del ácidos estándar

B = Normalidad del ácido estándar

C.1.8 Acidez: Método de Titulación (SM 2310)

Discusión General

- a) *Principio:* Los iones de Hidrógeno presentes en una muestra como resultado de disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de álcali estándar. De esta manera la acidez depende del punto final de pH o del indicador utilizado. La construcción de una curva de titulación por las anotaciones del pH de las muestras después de sucesivas adiciones de pequeñas cantidades de titulante que permita la identificación de los puntos de inflexión y la capacidad de amortiguamiento. El punto de inflexión es el pH al cual la curva cambia de convexa a cóncava o viceversa.

Debido a la exacta identificación de los puntos de inflexión podía ser difícil o imposible en mezclas complejas, la titulación en muchos casos es llevada por un arbitrario punto final de pH basado en consideraciones prácticas. Para controles rutinarios de titulación o estimaciones preliminares rápidas de acidez, el cambio de color de un indicador podría ser utilizado como punto final.

- b) *Puntos Finales:* Idealmente el punto final de la titulación para la acidez podría corresponder al punto de equivalencia estequiométrica para la neutralización de ácidos presentes. El pH de punto de equivalencia puede depender de la muestra.

El dióxido de carbono (CO_2) disuelto usualmente es el mayor compuesto ácido en aguas superficiales no contaminadas; manejar cuidadosamente las muestras tomadas de la fuente podría minimizar la pérdida de gases disueltos. En una muestra contenida solo de dióxido de carbono, bicarbonatos, y carbonatos; la titulación a pH 8.3 a 25°C corresponde a la neutralización estequiométrica de ácido carbónico a bicarbonato. Porque el

color del indicador fenolftaleína cambia cerca del pH 8.3, este valor generalmente es aceptado como punto final estándar para la titulación de la acidez total, incluyendo CO₂ y los ácidos débiles. Metacresol purpura también tiene un punto final a pH 8.3 y da un claro cambio de color.

- c) *Interferencias*: Los gases disueltos contribuyen a la acidez o a la alcalinidad, tales como CO₂, sulfuro de hidrógeno, o amoníaco, podrían perderse o ganarse durante el muestreo, el almacenamiento o la titulación. Para minimizar tales efectos: Titular al punto final lo más rápido después de destapar la muestra, evitar agitar o mezclar vigorosamente, proteger la muestra de la atmósfera durante la titulación y después de la recolección que la muestra no sea calentada.

Aparatos

Ver en C.1.7 Alcalinidad: Método de Titulación (SM 2320)

Reactivos

- a) *Dióxido de Carbono - libre en el agua*: Prepare las soluciones estándar y el agua de dilución para el proceso de estandarización con agua destilada o desionizada, hiérvala por 15 minutos y déjela enfriar. El pH final del agua podría ser ≥ 6.0 y su conductividad $< 2.0 \mu\text{mhos/cm}$.
- b) *Solución de Hidrogeno pTalato de Potasio*: Aproximadamente 0.05 N, primero tome de 15 a 20 g de KHC₈H₄O₄ y pulverícelo a 100 mesh aproximadamente, déjelo secar a 120°C durante 2 horas. Enfríe en el secador. Pese de 10.0 ± 0.5 g (lo más cercano de eso en mg), transfiera a un matraz volumétrico de 1 L, y diluya a 1000 mL.
- c) *Titulante Hidróxido de Sodio Estándar, 0.1 N*: Prepare una solución de aproximadamente 0.1 N como se indica abajo. Estandarice por titulación

40.0 mL de la solución de $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$, usando 25 ml en una bureta. Titule hasta el punto de inflexión, el cual podría estar cerca a pH 8.7.

Calculo de la normalidad del NaOH:

$$\text{Normalidad} = \frac{A \times B}{204.2 \times C} \quad (\text{C.3})$$

Donde:

A = g de $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ agregados al matraz de 1 L

B = mL de $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ tomados para la titulación

C = mL de NaOH utilizados

- d) Utilícese la normalidad medida en los cálculos o ajústese a 0.1000 N; 1 mL de solución 0.1000 N = 5.0 mg de CaCO_3 .
- e) *Hidróxido de Sodio titulante estándar, 0.02 N*: Diluya 200 mL de NaOH 0.1 N en 1000 mL de agua destilada o desionizada. Estandarícese mediante titulación potenciométrica de 15.0 mL de $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ 0.05 N, donde 1 mL = 1.0 mg de CaCO_3 .
- f) *Solución Indicadora de Bromofenol azul, Indicador de pH 3.7*: Disuélvanse 100 mg de bromofenol azul, sal sódica, en 100 mL de agua destilada.
- g) *Solución Indicadora de Púrpura de Metacresol, Indicador de pH 8.3*: Disuélvanse 10 mg de púrpura de metacresol en 100 mL de agua.
- h) *Solución Alcohólica de Fenolftaleína, Indicador a pH 8.3*: Disuelva 0.5 g de fenolftaleína en 50 mL de alcohol etílico o isopropílico al 95% y adicione 50 mL de agua destilada.

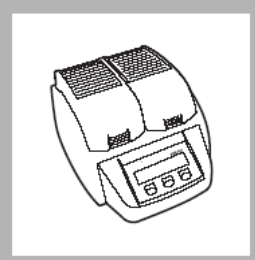
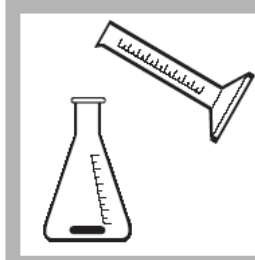
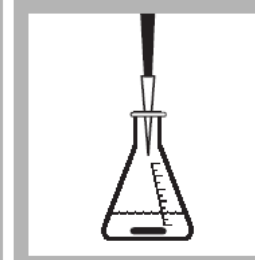
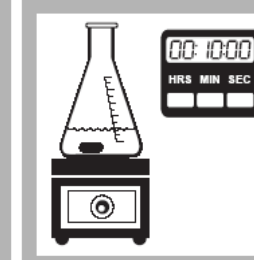
- i) *Tiosulfato sódico, 0.1 N*: Dilúyanse 25 g de $\text{NaS}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disuélvanse en 1000 mL en agua destilada.

Procedimiento

- a) *Cambio de Color*: Tome 50 mL de muestra. Ajústese la muestra a la temperatura ambiente si es necesario, y vacíese con pipeta en un erlenmeyer, manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz. Si existe cloro residual libre, añádanse 0.05 mL (dos gota) de solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M, o destrúyase mediante la aplicación de rayos ultravioleta. Añádanse 0.2 mL (cinco gotas) de solución indicadora y titúlese sobre la superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente, característico del punto de equivalente con NaOH 0.02 o 0.1 N.

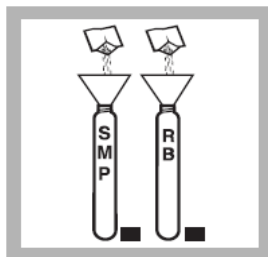
C.1.9 Carbono Orgánico Disuelto (DOC)

La muestra y el blanco deben de filtrarse previamente con papel filtro de fibra de vidrio de 0.47 μm .

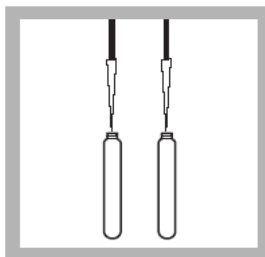
Direct Method		Method 10129	
			
1. Turn on the DRB 200 reactor. Select the TOC program.	2. Use a graduated cylinder to add 10 mL of sample to a 50-mL Erlenmeyer flask that contains a stir bar.	3. Add 0.4 mL of Buffer Solution, pH 2.0. Use pH paper to make sure the sample pH is 2.	4. Place the flask on a stir plate and stir at a moderate speed for 10 minutes.



5. Label two Low Range Acid Digestion vials *sample* and *reagent blank*.



6. Use a funnel to add the contents of one TOC Persulfate Powder Pillow to each Acid Digestion vial (colorless liquid).

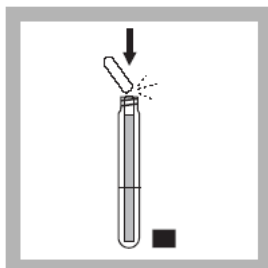


7. Use a TenSette® Pipet to add 3.0 mL of organic-free water to the reagent blank vial and 3.0 mL of prepared sample to the sample vial. Swirl to mix.



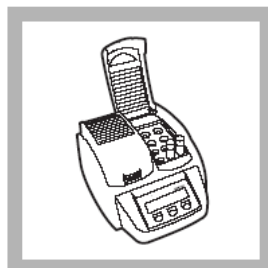
8. Rinse two blue Low Range Indicator Ampoules with deionized water and wipe them with a soft, lint-free wipe.

Do not touch the ampoules sides after wiping. Pick them up by the top.

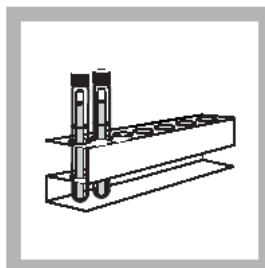


9. Lower one unopened ampoule into each Acid Digestion vial. When the score mark on the ampoule is level with the top of the Acid Digestion vial, snap the top off the ampoule and allow it to drop into the Acid Digestion vial.

Do not invert or tilt the vial after inserting the ampoule.



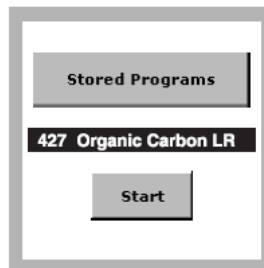
10. Cap the vial assemblies tightly and insert them in the COD reactor for 2 hours at 103–105 °C.



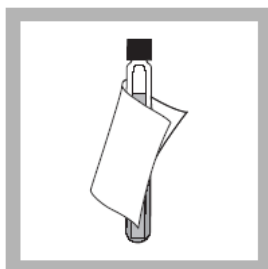
11. Carefully remove the vial assemblies from the reactor. Place them in a test tube rack.

Allow the vials to cool for one hour for accurate results.

The liquid in the reagent blank vial should be dark blue.



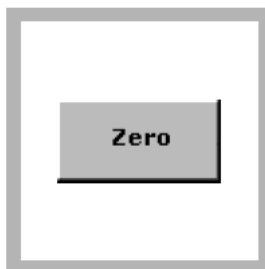
12. Select the test.



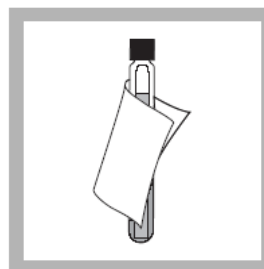
13. Wipe the reagent blank with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.



14. Insert the reagent blank vial assembly in the 16-mm round cell holder.



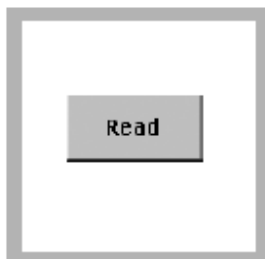
15. Press **ZERO**.
The display will show:
0.0 mg/L C.



16. Wipe the sample vial assembly with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.



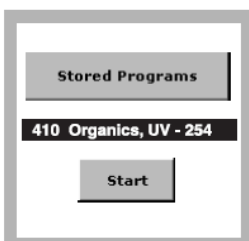
17. Insert the sample vial assembly in the 16-mm round cell holder.



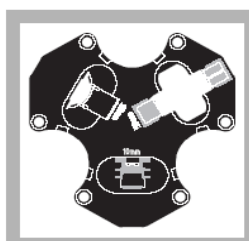
18. Press READ.
Results are in mg/L C.

C.1.10 Método de Absorción Ultravioleta (UV₂₅₄)

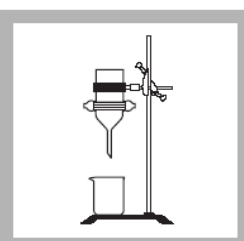
Method 10054



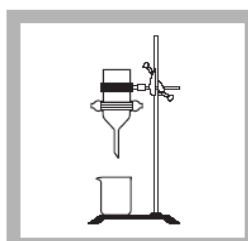
1. Select the test.



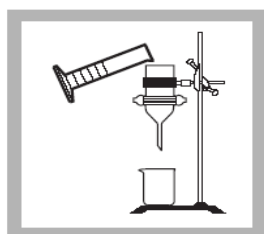
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 10-mm square cell holder facing the user.



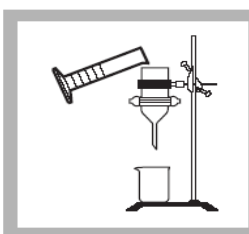
3. Assemble the filter apparatus. Be sure to use the white PTFE support plate. Insert the filter with the wrinkled surface upward.



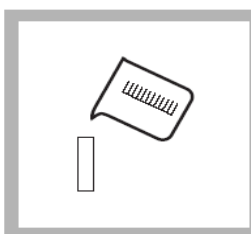
4. Mount the apparatus into a support stand and place a clean glass beaker underneath.



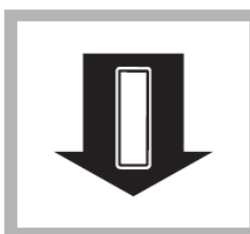
5. Prewash the filter assembly by pouring at least 50 mL of Organic-Free Reagent Water through the filter. Discard the filtered water.
Pre-rinsing removes any soluble impurities from the filter.



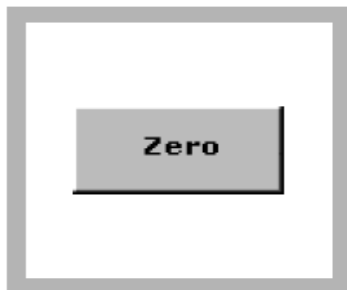
6. **Prepared Sample:** Pour 50 mL of sample through the filter and collect the filtered sample.



7. **Blank Preparation:** Rinse a clean 1-cm quartz cell several times with Organic-Free Reagent Water. Fill the cell with Organic-Free Reagent Water. Wipe the cell walls thoroughly.



8. Align the clear windows with the light path. Insert the blank into the cell holder.



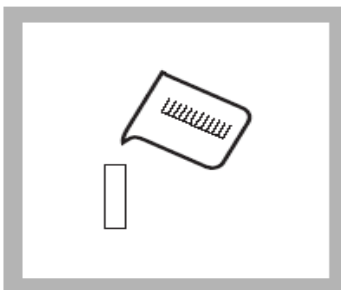
9. Press ZERO.

The display will show:

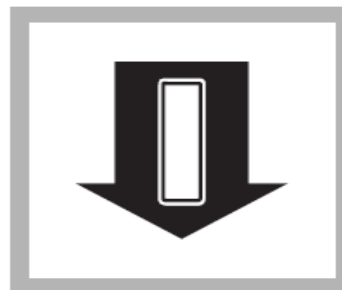
0.000 cm⁻¹

1cm cell

Lamp Warm Up will be indicated if the UV lamp has not been previously on. This may take 2–3 minutes.



10. Discard the contents of the blank cell and rinse the cell several times with filtered sample. After rinsing, fill the cell with filtered sample. Wipe the cell walls to remove fingerprints.



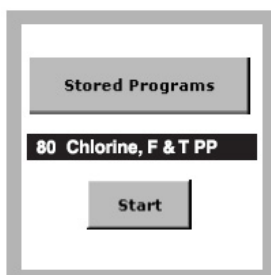
11. Align the clear windows with the light path. Insert the cell containing the prepared sample into the cell holder.

Results are in absorbance per centimeter (cm⁻¹).

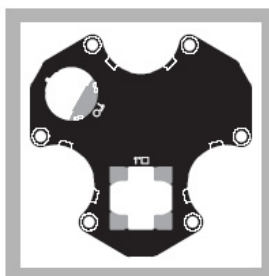
C.1.11 Cloro Total

Powder Pillows

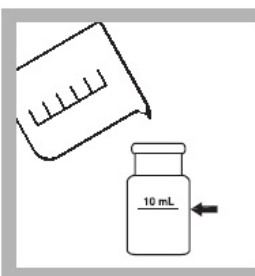
Method 8167



1. Select the test.



2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.

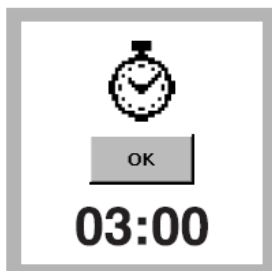


3. Fill a square sample cell with 10 mL of sample.

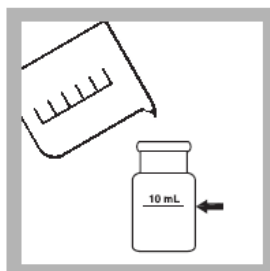


4. Prepared Sample: Add the contents of one DPD Total Chlorine Powder Pillow to the sample cell.

Swirl the sample cell for 20 seconds to mix.



5. Press **TIMER>OK**.
A three-minute reaction period will begin. Perform steps 6 and 7 during this time period.



6. **Blank Preparation:**
Fill a second square sample cell with 10-mL of sample.



7. Wipe the blank sample cell and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.
Press **ZERO**. The display will show: 0.00 mg/L Cl_2

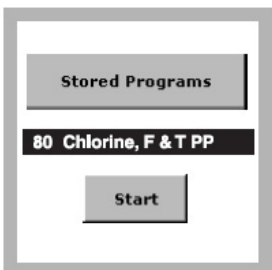


8. Within three minutes after the timer expires, wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.
Results are in mg/L Cl_2 .

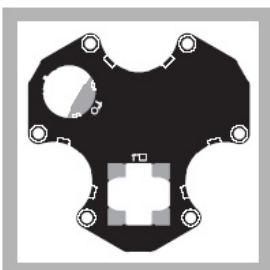
C.1.12 Cloro Libre

Powder Pillows

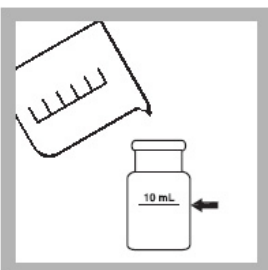
Method 8021



1. Select the test.



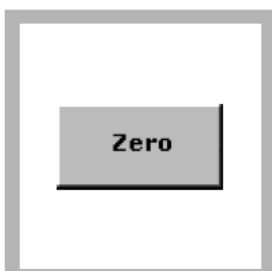
2. Install the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



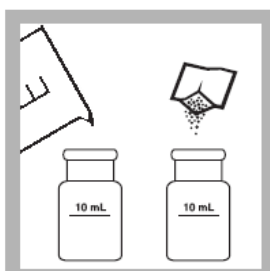
3. **Blank Preparation:**
Fill a square sample cell with 10 mL of sample.



4. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.



5. Press **ZERO**.
The display will show:
0.00 mg/L Cl_2



6. **Prepared Sample:**
Fill a second square cell with 10 mL of sample.
Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell.



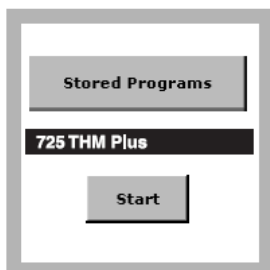
7. Swirl the sample cell for 20 seconds to mix.
A pink color will develop if chlorine is present. Proceed to step 8 immediately.



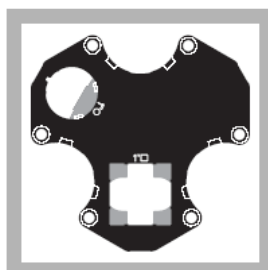
8. Within one minute of adding the reagent, insert the prepared sample into the cell holder with the fill line facing the user.
Results are in mg/L Cl_2 .

C.1.13 Trihalometanos

Method 10132



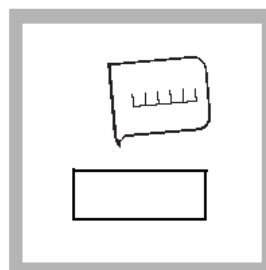
1. Select the test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



3. Prepare a hot water bath by adding 500 mL of water to an evaporating dish. Put the dish on a hot plate and turn the heater on high.



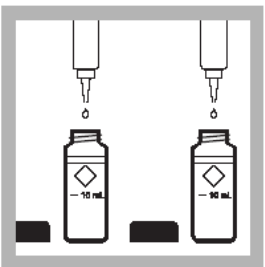
4. Prepare a cooling bath by adding 500 mL of cold (18–25 °C) tap water to a second evaporating dish. Maintain the temperature in this range.



5. **Prepared Sample:** Fill one round sample cell to the 10-mL mark with sample. Cap and label as "sample".



6. **Blank Preparation:** Fill the second sample cell with deionized water. Cap and label as "blank".

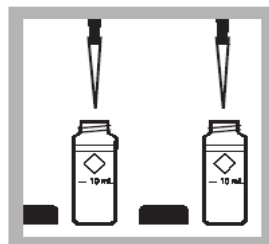


7. Add three drops of THM Plus Reagent 1 to each cell.



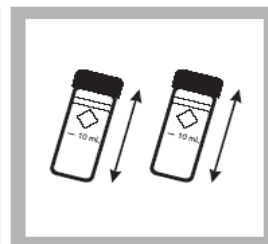
8. Cap tightly and mix gently by swirling each cell three times.

Vigorous shaking can cause loss of THMs into the sample cell headspace.



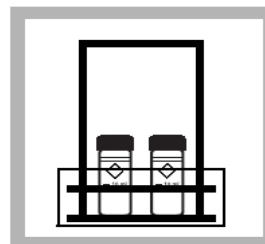
9. Use a TenSette® Pipet to add 3 mL of THM Plus Reagent 2 to each cell. Avoid excess agitation of the sample when dispensing the reagent.

The reagent is viscous and a small amount may remain on the tip after dispensing. This will not affect the results.

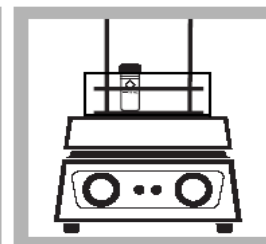


10. Cap tightly and mix by shaking.

Thorough mixing ensures that all of the THM goes into the liquid and does not accumulate in the air above the sample.

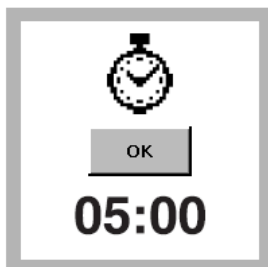


11. Place the sample cells in the cell holder assembly.



12. Place the assembly in the hot water bath when the water is boiling rapidly.

Do not allow the water to rise above the white "diamond" near the top of the sample cells.

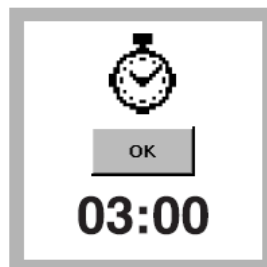


13. Press **TIMER>OK.**

A five-minute reaction period will begin.



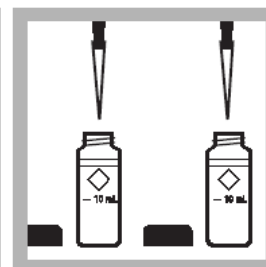
14. When the timer expires, remove the assembly and sample cells from the hot water bath. Place in the cooling bath.



15. Press **TIMER>OK.**

A three-minute cooling period will begin.

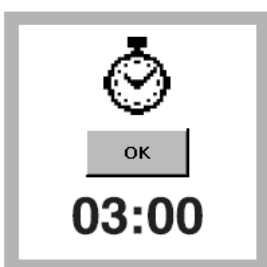
When the timer expires, remove the cells from the cooling bath.



16. Use a TenSette Pipet to add 1 mL of THM Plus Reagent 3 to each cell. The sample and blank will become warm.



17. Replace the cooling water with fresh, cold tap water. Place the assembly that contains the sample and blank cells into the cooling bath.

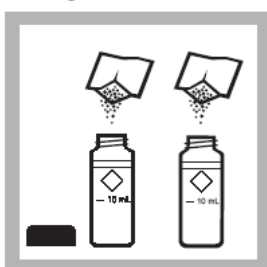


18. Press **TIMER>OK.**

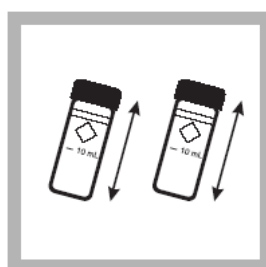
A second three-minute cooling period will begin.

After the timer expires, remove the cells from the cooling bath.

The temperature of the sample should be 15–25 °C.



19. Add the contents of one THM Plus Reagent 4 Powder Pillow to the sample cell and one to the blank.



20. Cap each cell tightly and mix by shaking until all the powder dissolves.

The powder dissolves slowly. Intermittent shaking during the first five minutes of the color development period will help dissolve the reagent powder.

RESUMEN

La materia orgánica natural (NOM) del agua cruda de la planta potabilizadora de Boaco, ubicado en el centro de Nicaragua, proviene del Río Fonseca, fue separada en tres fracciones orgánicas basadas en sus propiedades Hidrofóbicas e Hidrofílicas utilizando una secuencia de resinas iónicas y no-iónicas. Las fracciones de NOM fueron estudiadas con el propósito de determinar el impacto de la coagulación con quitosana en la remoción de esas fracciones en el tratamiento convencional de agua, y su potencial como precursor en la formación de productos por la desinfección en especial Trihalometanos.

El experimento mostró que el 63.64% de agua cruda en la estación seca con respecto al DOC y el 91.7% en la estación lluviosa están representadas por la fracción hidrofóbica (VHA y SHA), indicado que en el Río Fonseca predomina la materia orgánica húmica y por ello gran parte de los materiales orgánicos son de origen terrestre de alto peso molecular y de origen alógeno que pueden ser removidas por coagulación.

Después de la coagulación con quitosana, la dosis óptima de mayor remoción de la materia aromática medida como UV_{254} en la fracciones fue de 6 mg/L o menos con la siguiente tendencia SHA>CHA>VHA>NEU en la estación seca. En la estación lluviosa la tendencia es SHA>CHA>VHA>NEU al adicionar las dosis de quitosana de 12mg/L o menos.

El DOC mostró después del tratamiento de coagulación con quitosana que las fracciones VHA y SHA tuvieron mayor remoción, y poca efectividad en la remoción del DOC en la fracción NEU.

La concentración de trihalometanos después de la coagulación fue de 118.0 $\mu\text{g/L}$, que excede el valor normado por la USEPA pero no el de la normativa CAPRE. En cambio, en la época lluviosa los trihalometanos disminuyeron a 74.0 $\mu\text{g/L}$. En ambas estaciones, la fracción que más contribuyó a la formación de trihalometanos fue la hidrofóbica.

DEDICATORIA

El presente trabajo monográfico para optar al título de ingeniera química se lo dedico a mis padres Indira González y Freddy Solórzano por ser guías en mi camino de alcanzar mis metas profesionales; a mi tío Pedro Páramo por sus consejos y sus enseñanzas pragmáticas de la vida; y a mí esposo Manuel Martínez por su apoyo invariable para culminar mis estudios, y crecer profesionalmente y como persona.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco con toda sinceridad a la profesora Indiana García por enseñarme a terminar lo que uno empieza con disciplina, empeño y tenacidad para obtener buenos resultados.

También le agradezco a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Química que aportaron con sus lecciones al mejor entendimiento de la carrera de Ingeniería Química.

A mis compañeras del laboratorio Bertha Escobar, Anne Tapia y Aleyda Alemán, por hacer más manejable y alegre el proceso del estudio.